

Rauno Heikkilä

## **Siltojen tuotemallintamisen ja rakentamisautomaation kehittäminen (5D-SILTA)**

Tiehallinnon selvityksiä 22/2008

Rauno Heikkilä

**Siltojen tuotemallintamisen ja  
rakentamisautomaation  
kehittäminen (5D-SILTA)**

Tiehallinnon selvityksiä 22/2008

Tiehallinto

Helsinki 2008

*Kansikuva Petri Heinonen*

Verkkojulkaisu pdf ([www.tiehallinto.fi/sillat](http://www.tiehallinto.fi/sillat))

ISSN 1459-1553

ISBN 978-952-221-049-4

TIEH 3201101-v

**TIEHALLINTO**

Keskushallinto

Opastinsilta 12 A

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0204 22 11



**Rauno Heikkilä: Siltojen tuotemallintamisen ja rakentamisautomaation kehittäminen (5D-SILTA).** Helsinki 2008. Tiehallinto, Keskushallinto. Tiehallinnon selvityksiä 22/2008, 47 s. ISSN 1459-1553, ISBN 978-952-221-049-4, TIEH 3201101-v.

**Asiasanat:** Sillat, sillansuunnittelu, mittausmenetelmät, tietotekniikka, rakentaminen, mallintaminen, automaatio  
**Aiheluokka:** 35, 43

## TIIVISTELMÄ

Raportti dokumentoi vuosina 2004-2007 toteutetun Siltojen tuotemallintamisen ja rakentamisautomaation kehittäminen (5D-SILTA) -projektin tuloksia.

5D-SILTA oli sateenvarjohanke, jonka alaisuudessa toteutettiin useita erillisiä tutkimus- ja kehittämisprojekteja konsortion toimijoiden yhteistyöllä. 5D-teknologialla tarkoitettiin projektissa enemmän kuin 3-dimensionaalisen tiedon tuottamista, siirtämistä ja hyödyntämistä läpi sillanrakentamisen kokonaistoimintaprosessin. Tehdyt tutkimus- ja kehittämistoimet kohdistuivat siltojen 3D-laserkeilausten ja GPR-tutkausten kehittämiseen, mittaustulosten ja tiegeometrian siirtämiseen siltojen 3D-tuotemallintamiseen, tuotemallintamiseen perustuvan sillansuunnittelun kehittämiseen ja tehostamiseen sekä edelleen tuotemallitiedon monipuoliseen hyödyntämiseen rakennustyön määrä- ja kustannuslaskennassa, aikatauluttamisessa, hankintojen suunnittelussa ja ohjauksessa sekä rakentamisessa ohjaavissa ja tarkastavissa 3D-mittauksissa.

3D-laserkeilaus rikastuttaa, tehostaa ja tarkentaa siltapaikan geometrisia mittauksia sillanrakentamistöiden eri vaiheissa. Kehittyvän siltatutkauksen avulla lähtötietojen mittauksia voidaan edelleen laajentaa ja tuottaa siten yhä enemmän informaatiota siltojen korjaussuunnittelua varten. Siltojen suunnittelussa siirtyminen 3D-tuotemallintamiseen tehostaa ja nopeuttaa suunnittelutyötä, vähentää suunnitteluvirheitä, helpottaa muutostenhallintaa ja palvelee suoraan visualisoinnin eri tarkoituksia. Urakoitsija kykenee hyödyntämään tuotemallia suoraan esimerkiksi määrä- ja tarjouslaskennassa, hankintatoimessa, aikatauluhallinnassa ja jopa mittauksissa. Näin 5D-teknologia integroi suunnittelijan ja urakoitsijan entistä vuorovaikutteisempaan ja jatkuvampaan yhteistyöhön. Tilaaja voi hyödyntää tuotemallia esimerkiksi suunnitelmien tarkistusvaiheessa ja myöhemmissä ylläpito- ja korjausvaiheissa.



## SAMMANFATTNING

I rapporten redogörs för resultaten av projektet för utveckling av produktmodellering och byggautomation för broar (5D-SILTA), som genomfördes åren 2004–2007.

Under detta paraplyprojekt samarbetade konsortiets aktörer inom ett antal separata forsknings- och utvecklingsprojekt. Med 5D-teknik avses i detta sammanhang mer än framtagning, överföring och utnyttjande av tredimensionell information under hela brobygget. Forsknings- och utvecklingsinsatserna fokuserade på att utveckla 3D laserskanning och georadarmätningar, införa mätresultat och väggeometri i 3D-produktmodelleringen av broar, utveckla och effektivisera broprojekteringen utgående från produktmodellering samt vidare att på ett mångsidigt sätt utnyttja produktmodelldata vid volym- och kostnadsberäkningarna, tidsuppläggningsplaneringen, upphandlingsplaneringen och -hanteringen under byggarbetet och vid 3D-mätningar för styrning och kontroll av bygget.

3D-laserskanning berikar, effektiviserar och preciserar de geometriska mätningarna under de olika momenten vid broanläggningen. Tack vare utvecklingen inom broskanning kan man göra fler mätningar av utgångsdata och därigenom ta fram mer information för projektering av broreparationer. Införandet av 3D-produktmodellering i broprojektering gör projekteringen effektivare och snabbare, minskar risken för planeringsfel, underlättar hanteringen av ändringar och kan användas för visualisering på olika sätt. Entreprenören kan tillgodogöra sig produktmodellen direkt vid till exempel volym- och offertberäkningar, upphandling, tidshantering och till och med mätningar. Genom 5D-tekniken uppnås således ett mer interaktivt och fortlöpande samarbete mellan projekteraren och entreprenören än tidigare. Uppdragsgivaren kan utnyttja produktmodellen vid bland annat kontroll av ritningarna och senare i samband med underhåll och reparationer.

## **SUMMARY**

This report documents the results of the Bridge Product Modelling and Construction Automation Development (5D-SILTA) project implemented in 2004–2007.

5D-SILTA was an umbrella project under which various separate research and development projects were carried out in cooperation between the actors in the consortium. In the project, 5D technology refers to the production, transfer and utilisation of data in more than three dimensions throughout the total operating process of bridge building. The research and development measures carried out focused on the development of 3D laser scanning and GPR scanning of bridges, the transfer of measurement results and road geometry to the 3D product modelling of bridges, the development (and improvement in the efficiency) of road design based on product modelling, the diverse utilisation of product model data in the quantity surveying and cost accounting, scheduling, and procurement planning and management of construction work and in 3D measurements used to control and check construction.

Three-dimensional laser scanning enriches the geometric measurements taken during various stages of bridge construction and improves their efficiency and precision. By utilising the developing technique of bridge scanning, the measurements of the starting data can be expanded further and thus produce more information for the planning of bridge repairs. In bridge design, the shift to 3D product modelling increases the efficiency and speed of design work, reduces design flaws, improves change management and directly serves the various aims of visualisation. A contractor can utilise a product model directly in quantity surveying and tender calculations, procurement operations, schedule management and even in measuring. Thus, 5D technology integrates the designer and contractor into a more interactive and continuous process of cooperation. The client can utilise the product model when checking plans, for example, and in later maintenance and repair stages.

## ALKUSANAT

Siltojen tuotemallintamisen ja rakentamisautomaation kehittäminen (5D-SILTA) -projekti on ollut jatkoa Älykäs silta -projektille (Siltojen 3D-suunnittelu- ja -mittausjärjestelmän kehittäminen), joka toteutettiin vuosina 2001-2005 osana TEKESin Infra-teknologiaohjelmaa.

5D-SILTA -projektia koordinoi johtoryhmä, jonka puheenjohtajana toimi Timo Tirkkonen Tiehallinnosta ja sihteerinä Rauno Heikkilä Oulun yliopistosta. Lisäksi projektin työskentelyn eri vaiheisiin ja osaprojekteihin osallistuivat useat henkilöt eri organisaatioista: Markku Nousiainen, Heikki Lilja, Keijo Pulkkinen ja Risto Väänänen Tiehallinnosta, Harri Yli-Villamo Ratahallintokeskuksesta, Pekka Pulkkinen ja Antti Karjalainen WSP Finland Oy:stä, Risto Hätiäinen Siltanylund Oy:stä, Ilkka Vilonen ja Jaakko Länsiluoto Ramboll Finland Oy:stä, Kari Kuusela Ponvia Oy:stä, Esko Rechardt ja Ari Kouvalainen Sito Oy:stä, Ari-Pekka Olkkonen ja Minna Salonsaari Destia Oy:stä, Kyösti Ratia Skanska Infra Oy:stä, Thomas Grönholm Tekla Oyj:stä, Esa Haapa-aho Terasolid Oy:stä ja Kari Olkkonen Geotrim Oy:stä sekä lukuisat muut henkilöt näistä ja muista organisaatioista.

5D-SILTA projektin tulokset on koottu tähän loppuraporttiin. Raportin kokoaamisesta yrityksittäin toimitetun aineiston pohjalta on vastannut Rauno Heikkilä Oulun yliopistosta.

Lämmin kiitos tuloksellisesta yhteistyöstä 5D-SILTA-konsortiossa kaikille projektissa mukana olijoille. Kehitystyö aiheen ympärillä jatkuu edelleen 5D-SILTA2 -projektissa.

Helsingissä lokakuussa 2008

Tiehallinto  
Asiantuntijapalvelut



## Sisältö

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>11</b>
1.1	Tausta	11
1.2	Tavoite	12
<b>2</b>	<b>TOTEUTUS</b>	<b>13</b>
2.1	5D-SILTA -kokonaisprojektin toteutus	13
2.2	Konsortion yhteiset kehittämishankkeet	14
2.2.1	Kajaanin varikkosilta	14
2.2.2	Uudenmaan tiepiirin kehittämishanke	16
2.2.3	Silta3D-projekti	16
2.2.4	Oulun eteläinen rautatien alikulkusilta	17
2.3	Yritysten kehittämisprojektit	18
2.3.1	WSP Finland Oy	18
2.3.2	Siltanylund Oy	19
2.3.3	YS Sito Oy	19
2.3.4	Ramboll Finland	19
2.3.5	Ponvia Oy	20
2.3.6	Destia Oy	20
2.3.7	Skanska Infra Oy	21
2.3.8	Tekla Oyj	22
2.3.9	Terrasolid Oy	22
2.3.10	Geotrim Oy	22
<b>3</b>	<b>TULOKSIA</b>	<b>23</b>
3.1	5D-SILTA-kokonaisprojektin tuloksia	23
3.2	Konsortion yhteiset kehittämishankkeet	23
3.2.1	Kajaanin varikkosilta	23
3.2.2	Uudenmaan tiepiirin kehittämishanke	27
3.2.3	Silta3D-projektin tulokset	28
3.2.4	Oulun eteläinen rautatien alikulkusilta	29
3.3	Yritysten kehittämisprojektit	30
3.3.1	WSP Finland Oy	30
3.3.2	Siltanylund Oy	33
3.3.3	YS Sito Oy	33
3.3.4	Ramboll Finland Oy	35
3.3.5	Ponvia Oy	36
3.3.6	Destia Oy	36
3.3.7	Skanska Infra Oy	37
3.3.8	Tekla Oyj	38
3.3.9	Terrasolid Oy	41

---

3.3.10 Geotrim Oy	41
4 ARVIOINTIA	43
5 VIITERAPORTIT	45
6 KIRJALLISUUSLUETTELO	46

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Tausta

5D-SILTA-projekti oli jatkumo ns. Älykäs silta –projektille (Siltojen 3D-suunnittelu- ja –mittausjärjestelmän kehittäminen), joka toteutettiin osana TEKE-Sin Infra-teknologiaohjelmaa 2001-2005 (väliraportti Tiehallinnon selvityksiä 36/2004, loppuraportti Tiehallinnon selvityksiä 12/2005).

Kehittämistyön taustalla on ollut yleinen havainto rakentamisen tuottavuuden hitaammasta kehityksestä rakennusalaan muihin teollisuuden aloihin verrattuna. Rakentamisen suunnittelu on kehittynyt yhä enemmän piirustus pohjaisesta suunnittelusta kolmiulotteiseksi tuotemallintamiseksi, jossa rakennusosat mallinnetaan niin kuin ne todellisuudessa ovat. Samaan aikaan talonrakentamisen 3D-mittaustekniikat sekä työkonien automaattiset 3D-ohjausjärjestelmät ovat kehittyneet ja yleistyneet koko maailmassa hyvin nopeasti. 4D- ja 5D-menetelmillä 3D-tuotemalleja on jo talonrakennussektorilla kytketty urakoitsijan työmaan toimintajärjestelmiin.

Muutos- ja kehityspaineita lisäävät edelleen infra-alan hankintamenettelyiden jatkuva uudistuminen, joka edellisten lisäksi on merkittävä tavalla laajentamassa urakoitsijoiden ja suunnittelijoiden toimialueita. Myös silta-ala on pidemmällä tähtäimellä siirtymässä kohti elinkaarihallintaa, jossa suunnittelun ja rakentamisen toteutukseen kytketään tuotteen elinkaaren kattavat osavaiheet toisiinsa. Omistajan rooli kehitystyön toteutuksessa on hyvin keskeinen. Tiedonsiirron rajapinnat ja formaatit tulisivat olla kaikkien käytävissä.

Yhtenä vaikuttavana tekijänä sillansuunnittelun ja –rakentamisen aikataulut ovat kiristyneet jatkuvasti. Tämä asettaa välttämättömiä tarpeita kehittää tehokkaampia suunnittelutyökaluja, jotka mahdollistavat tehokkaamman ja virheettömämmän suunnittelun. Yhtenä keinona on suunnittelutyön rutiinien automatisointi, jolloin oleellisimpaan luovaan suunnitteluvaiheeseen jäisi enemmän aikaa. Tähän kehittyvään prosessiin tulisi myös lähtötiedot saada sähköisessä muodossa. Myös suunnitelmien sisältö laajentunee jatkossa.

5D-SILTA-projekti kuului yhtenä projektina Infra 2010 –kehittämisojelman, jonka tavoitteena oli infra-alan hankintamenettelmien ja muiden toimintatapojen uudistaminen sekä uuden teknologian ottaminen nykyistä paremmin käyttöön, jotta alan tuottavuus kasvaisi. Ohjelmassa yksi neljästä painopistealueista kohdentuu tuotemallintamisen, tiedonsiirron ja automaation kehittämiseen. Tekesin Infra-teknologiaohjelmassa oli parhaillaan käynnissä ns. InfraModel2-projekti, jossa kehitettiin 3D-geometrietiedon ohjelmistosta toiseen siirtämiseen tarvittavaa uutta XML-perusteista tiedonsiirtoformaattia. Talonrakentamisen alueella kehitetään vastaavasti avointa ns. IFC-tiedonsiirtoformaattia. Kehittyviä avoimia tiedonsiirtoformaatteja voitaisiin soveltuvin osin hyödyntää myös silta-alan informaatio- ja automaatioteknologian kehittämisessä.

Tiehallinnon Oulun tiepiirissä on myös tehty viime vuosina silta-alan kohdistuvaa tutkimusta ja kehitystä mm. SILTOPA-hankkeessa (Siltojen palvelusopimuksen kehittäminen, 1. vaiheessa n. 600 sillan ylläpidon kehittämisspilotti), jossa selvitetään lähtötietojen hankintaa vanhoista silloista laserkeilauksella.



## 1.2 Tavoite

5D-SILTA-projektin tavoitteena oli jatkaa Älykäs silta –projektissa aloitettua tutkimusta, tuotekehitystä ja uusien menetelmien käyttöönottoa kehittämällä ja integroimalla siltojen kokonaistoimintaprosessia ja siihen liittyviä osatekniikoita. Projektin tavoitteeksi asetettiin kehittää edelleen siltojen 3D-kokonaistoimintaprosessia. Kehittämisen kohteena oli siltojen 3D-suunnittelu. Tavoitteena oli myös kehittää uusia työkaluja urakoitsijoiden ja tilaajan toimintoihin.

Tiehallinnon tavoitteena projektissa oli sisällön määrittäminen sähköisille sillansuunnittelun lähtötiedoille sekä kehittämis ehdotusten laatiminen nykyisille toleranssivaatimuksille tiesiltojen osalta. Sähköisen dokumentoinnin ja tuotemallien jatkokäytön kannalta onnistuneen arkistoinnin perusedellytyksenä oli, että tuotemallivaatimukset ja tiedonsiirtoformaatit ovat kaikille selvillä. Tämä vaatii siltarekisterin perusteellista päivitystä. Kokonaistoiminnan läpikäyntiä kokeilemalla ainakin yhdessä kohteessa saadaan arvokasta käytännön tietoa tätä varten. Ratahallintokeskuksen tavoitteet olivat samansuuntaisia ratasiltojen osalta. Yritykset asettivat kukin erikseen tavoitteita omalle kehitystyölleen.

Sillansuunnittelutoimistojen (WSP Finland Oy, Siltanylund Oy, YS Sito Oy, Rambol Finland, Ponvia Oy) tavoitteena oli siltasuunnittelun tarpeiden ja lähtötietojen määrittely, kehitettävien sovellusten testaukset todellisissa testausalustoissa sekä soveltuvien osin projektin eri työvaiheiden suunnitteluun, toteutukseen ja raportointiin osallistuminen.

Destia Oy:n tavoitteena oli pääurakoitsijan kokonaistoiminnan ja –järjestelmien uudistaminen uusia projektissa kehitettäviä työkaluja hyödyntäen. Skanska Infra Oy:n tavoitteena oli sähköisen tietovirtaketjun tehostaminen etenkin suunnittelun ja työmaan välillä.

Tekla Oy:n tavoitteena oli kehittää Tekla Xstreet –tensuunnitteluohjelmaa ja Tekla Structures –rakennesuunnitteluohjelmaa sekä näiden välistä tiedonsiirtoa sillansuunnittelun ja –rakentamisen kokonaistoimintaprosessiin sekä erikseen tilaajan, sillansuunnittelijan ja siltatyömaan pääurakoitsijan tarpeisiin ja käyttöön soveltuvaksi.

Terrasolid Oy:n tavoitteena oli MicroStation-CAD-ohjelman siltasuunnittelutyökalujen ja mittaussovellusten edelleen kehittäminen. Lisäksi tavoitteena oli kehittää tiedonsiirtoyhteyksiä takymetreistä suunnitteluohjelmistoihin, kehittää tiedonsiirtoyhteyksiä laserkeilauksiin sekä tie- ja siltatuotemalleihin. Geotrim Oy:n tavoitteena oli Trimblen takymetreihin kohdistuvan Terrasolid Oy:n projektissa toteuttaman sovelluskehityksen tukeminen, tarvittavan mittaus-, koneohjaus- ja muun Trimble-teknologian tarjoaminen projektin käyttöön.

5D-SILTA-projekti alkoi 1.9.2005 ja päättyi 31.12.2007. Projektin kesto oli noin kaksi vuotta ja 4 kuukautta (yhteensä 28 kuukautta). Kehitystyötä päätettiin jatkaa edelleen 5D-SILTA2-projektilla.

## 2 TOTEUTUS

### 2.1 5D-SILTA -kokonaisprojektin toteutus

5D-SILTA-projekti toteutettiin ryhmähankkeena, joka koostui kokonaisprojektista, yhteisistä kehittämisprojekteista sekä yritysveltoisista tuotekehitysprojekteista. Oulun yliopisto koordinoi kokonaisprojektia ja tarjosi tutkimusapua tuotekehitysprojekteille. Projektin suunnittelu- ja käynnistysvaiheessa laadittiin yhteinen kokonaisprojektisuunnitelma ja yrityskohtaisia tuotekehitysprojekti-suunnitelmia sekä yhteinen konsortiosopimus. Oulun yliopisto avusti yrityksiä projektisuunnittelussa sekä tarvittaessa TEKES-rahoitushakemuksien teossa. Osa yrityksissä haki kehittämistukea Tekesistä. Konsortion työtä ohjasi ja sen yhteisenä tiedonvaihtokanavana toimi johtoryhmä, jonka muodostivat työskentelyssä mukana olleiden organisaatioiden nimetyt edustajat.

Projektiin osallistuivat:

- Tiehallinto
- Ratahallintokeskus
- Oulun yliopisto
- WSP Finland Oy
- Siltanylund Oy
- YS Sito Oy
- Rambol Finland
- Ponvia Oy
- Destia Oy
- Skanska Infra Oy
- Tekla Oyj
- Terrasolid Oy
- Geotrim Oy

Projektin toteutusideana oli kokeilla kehitettäviä parannuksia testausalustoissa, jolloin tilaaja voi tulosten perusteella ohjelmoida varsinaiset toteutusprojektit. Valmistelu- ja määrittelyvaiheessa hankittiin testausalustoja ja tarvittavat ohjelmistot. Tekla Oyj järjesti Tekla Structures -ohjelman käyttökoulutukset tilaajille, suunnittelijoille sekä urakoitsijoille. Projektin johtoryhmässä esiteltiin uusia tekniikoita ja menetelmiä projektin yleisiin tavoitteisiin liittyen. Sito Oy:ssä käynnistettiin Tiehallinnon rahoituksella diplomityö tuotemallintamisen eduista perinteiseen 2D-piirtämisperusteiseen suunnittelumenetelmään verrattuna.

Sillansuunnittelun tehostamiseen suunniteltiin ja käynnistettiin Tiesiltojen mallinnuksessa käytettävien 3D-komponenttien luominen (Custom components) -projekti. Custom components -projekti jatkuu vuoden 2008 loppupuolelle ja raportoidaan myöhemmin erikseen.

5D-SILTA-projektin toteutusta helpottamaan perustettiin Oulun yliopiston palvelimelle projektin kotisivut (<http://oci.suomi.net/5D/>). Konsortion jäsenille jaettiin käyttäjätunnukset ja salasانات. Kotisivuihin sisältyy kaikille avoin julkinen sivusto sekä vain projektin jäsenille tarkoitettu extranet-sivusto. Extranet-sivuille pystyi kukin jäsen lisäämään omaan hakemistoon tiedostoja mui- ta konsortion jäseniä varten.



## 2.2 Konsortion yhteiset kehittämishankkeet

### 2.2.1 Kajaanin varikkosilta

"Sillan rakentamisen automaatio – case Kajaanin varikkosilta" -projektin taustalla oli 5D-SILTA-kokonaisprojekti ja sen tavoitteet siltojen mittausten, tuotemallintamisen, toimintaprosessin tietovirtojen ja rakentamisautomaation kehittämiseksi. Uuden teknologian konkreettiset kehittämisaskeleet voidaan tehdä ainoastaan oikeissa testausalustoissa yhteistyössä alan toimijoiden kanssa. Taustalla oli myös Kajaanin varikkosillan aiemmin tehdyt työt (vanhan sillan ja ympäröivien rakenteiden 3D-laserkeilaus, 3D-siltasuunnittelu Tekla Structures-ohjelmalla) sekä yleisemminkin havaitut edut 3D-maailmaan siirtymisestä.

Projektin tavoitteena oli kehittää ja kokeilla teräsbetonisillan korjausrakentamishankkeessa

- a) 3D-laserkeilausta geometrian mittaus- ja tarkastusmenetelmänä
- b) kehittää tilaajan mahdollisuuksia hyödyntää 5D-tuote- ja -toteutumamalleja tilaajan toiminnassa
- c) kehittää urakoitsijan mahdollisuuksia hyödyntää 5D-tuote- ja -toteutumamalleja rakentamistyössä sekä
- d) kehittää 5D-kokonaistoimintaprosessia sekä tutkia 5D-siltarekisterin uudistamisen lähtökohtia.

WSP Finland Oy teki Kajaanissa sijaitsevaan korjauskohteeseen mittavan purku-, korjaus- ja uudissuunnittelun. Oulun yliopisto mittasi suunnitteluun tarvittavat lähtötiedot ja työn aikaiset mittaukset laserkeilaamalla. Työn suoritti Oulun yliopiston Rakentamisteknologian tutkimusryhmä käyttäen Leica HDS3000-laserkeilainta. Projektin vastuullisena johtajana toimi TkT, dosentti Rauno Heikkilä ja tutkijana Kirsi Hänninen. Oulun yliopisto osti lisäksi asiantuntijapalveluita WSP Finland Oy:ltä ja Mitta Oy:ltä. Projekti toteutettiin 1.6.-30.11.2007. Tilaaajan eli Tiehallinnon yhteyshenkilönä oli Risto Väänänen.

Työmaan 3D-koordinaatiston tarkentamiseksi ja eri vaiheissa tehtävien laserkeilausten vertailemisen mahdollistamiseksi varikkosillan ympärille rakennettiin uusi pisterunko. Kohteeseen rakennettiin kiintopisteet, jotka mitattiin säteittäisesti kartoittaen.

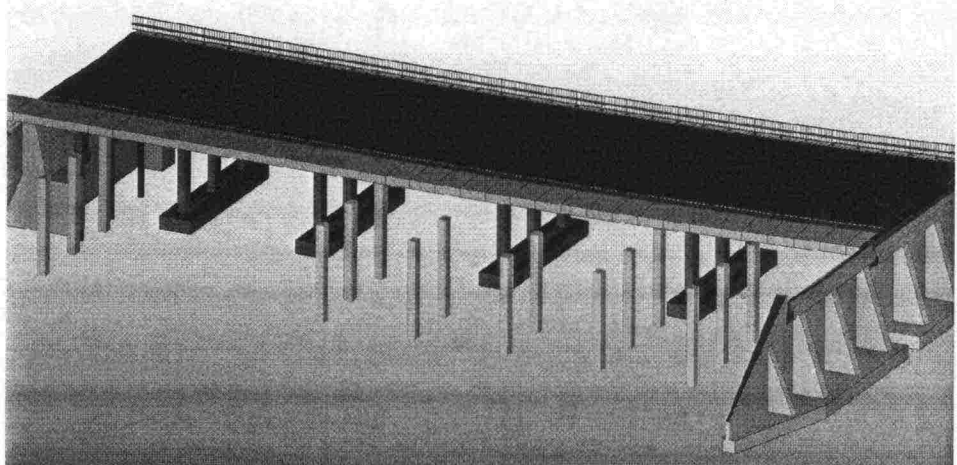
Sillan suunnittelutyö oli tehty aikaisemmin suoritettujen laserkeilausten perusteella. Koska laserkeilausissa käytettyjä lähtöpisteitä ei oltu dokumentoitu ja lähtöpisteistön sisäinen tarkkuus ei ollut riittävä, suoritettiin vielä tarkentava laserkeilaus, jonka perusteella uusi pisteverkko muunnettiin suunnitelmakoordinaatistoon. Samalla Kajaanin kaupungin runkopisteet saivat uudet sisäisesti tarkat koordinaatit. Mittauskaluston käytettiin takymetria Leica TC5005 sekä laserkeilaimena Leica HDS 3000-järjestelmää. Koordinaatistojärjestelmänä oli VVJ sekä korkeusjärjestelmänä N43.





*Kuva 1. Suunnittelua varten tarvittiin lähtötilanteen laserkeilaus (Oulun yliopisto).*

Sillan suunnittelu toteutettiin tuotemalliperusteisena eli rakenteesta luotiin kolmiulotteinen suunnitelmamalli sisältäen myös ominaisuustietoja. Sillan tuotemalli tehtiin Tekla Structures –ohjelmalla. Koska käytetty suunnitteluohjelmisto ei pystynyt suoraan hyödyntämään laserkeilauspisteaineistoa, muodostettiin aineistosta oleellisilta osin pintamalli, joka liitettiin lähtötietona suunnittelujärjestelmään. Pintojen lisäksi lähtötietona käytettiin takymetrimittauksella saatua reunapalkin muotoviivaa.



*Kuva 2. Tekla Structures –ohjelmalla toteutettu sillan tuotemalli.*

Laskentavaiheessa urakoitsijalla ei ollut mahdollisuutta käyttää 3D-mallia. Rakentamisvaiheessa urakoitsija osallistui Tekla Structures -koulutukseen yhtenä päivänä. Rakentamistöiden aikana varsinaisia kehittämiskokeiluja ei ehditty tekemään.

### 2.2.2 Uudenmaan tiepiirin kehittämishanke

Uudenmaan tiepiirin kehittämishankkeeseen osallistuivat Uudenmaan tiepiiri, Destia, WSP kuntotutkimus, Siltaekspertit Oy, Roadscanners Oy, Neopoint Oy sekä Oulun yliopisto. Kokeita tehtiin seitsemällä erikoistarkastetulla sillalla. Sillat laserkeilattiin ja tutkattiin siltatutkalla (3D- ja 2D-tutkilla). Tulkintaan käytettiin myös uutta Roadscannersin kehittämää ohjelmistoa. Neopoint Oy toimitti laserkeilauksista pistepilvet ja pintamallit. Korjaussuunnittelun kehittäminen jätettiin seuraavan jatkoprojektin tehtäväksi.

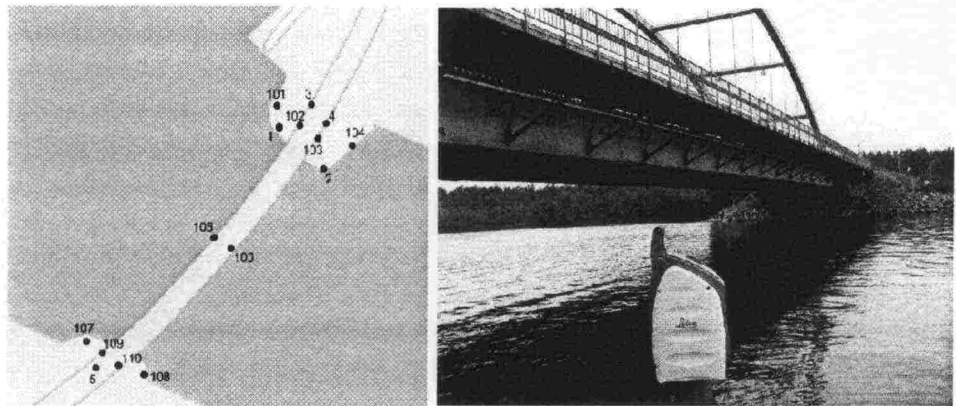
### 2.2.3 Silta3D-projekti

Oulun tiepiiri toteutettiin 1.6.-30.11.2007. "Siltasuunnitelmien muuttaminen 3D-muotoon" -selvityksen. Projektissa tehtävissä selvityksissä ja kokeissa pyrittiin hahmottamaan ja luomaan perustaa tulevaisuuden 3D-siltarekisterin kehittämiselle.

Siltasuunnitelmien muuttaminen 3D-muotoon -konseptikuvaus sisältyi Tiehallinnon ylläpidon kehittämisohjelmaan 2007-2010. Konseptikuvauksen ensisijaisena tavoitteena oli selvittää malli ja menettelytavat siihen, kuinka siltasuunnitelmat voidaan saattaa 3D-muotoon piirustuksista skannatusta materiaalista. Lähtökohtana on ollut ohjelmistoriippumattomuus ja ratkaisujen avoimuus. Tavoitteena oli myös, että ratkaisu tukisi osaltaan INFRA 2010 -ohjelman mukaisia tavoitteita yhteisestä tuotetietomallista ja tietokantojen yhteiskäyttöisyydestä. Työtä ohjanneeseen projektiryhmään kuuluivat Tiehallinnosta Keijo Pulkkinen, Terhi Mikkonen, Risto Väänänen ja Mikko Inkala. Konsultteina työssä toimivat Mikko Perälä Cubicasa Oy:stä ja Kari Kuusela Ponvia Oy:stä. Lisäksi projektiryhmän työskentelyyn osallistui Rauno Heikkilä Oulun yliopiston Rakentamisteknologian tutkimusryhmästä. Laserkeilauksista vastasivat Heikkilän lisäksi yliopistolta Juha-Matti Halme ja Janne Paitsola. Konseptikuvauksen rinnalla käynnistynyttä opinnäytetyötä teki Lasse Joensuu Oulun Ammattikorkeakoulusta.

Projektissa hankittiin todellista 3D-mittaustietoa viidestä eri puolella Pohjois-Suomea sijaitsevasta sillasta (Kiiminki, Olhava, Vaalankurkku, Haukipudas ja Suomussalmi). Tarkoitukseen soveltuvaksi ainoaksi mahdolliseksi mittausmenetelmäksi nähtiin 3D-laserkeilaus. Mittauksista saatuja puhdistettuja pistepilviä vertailtiin suunnitelmapiirustusten perusteella luotuihin geometrisiin 3D-tuotemalleihin. 3D-suunnitelmamallit laadittiin AutoCAD-ohjelmalla vanhojen 2D-piirustusten pohjalta, jotka toimitti hankkeen koordinaattorina toiminut Base International Oy.





Kuva 3. Haukipierän sillan laserkeilaus (Oulun yliopisto).

Laserkeilaustyön ja sekä pistepilvien ja 3D-suunnitelmamallien vertailutyön suoritti Oulun yliopiston Rakentamisteknologian tutkimusryhmä käyttäen Leica HDS3000-laserkeilainta ja siihen kuuluvaa Cyclone ohjelmistoa. Oulun yliopisto osti lisäksi asiantuntijapalveluita Mitta Oy:ltä.

Silta3D-projektin tulokset raportoitiin erikseen (ks. viiteraportit).

#### 2.2.4 Oulun eteläinen rautatien alikulkusilta

Oulun eteläisellä rautatiesillalla suoritettiin 3D-laserkeilauskokeita sillan korjaussuunnittelun lähtötietojen hankkimista varten. Laserkeilauksen toteutti Oulun yliopisto. Mittausjärjestelmänä oli Leica HDS 3000 ja koordinaatiston perustamista varten Leica TCR 307 -takymetri.

Mittauskohteena siltapaikka osoittautui vaativaksi. Siltakannen alapuoliset pilarijonot aiheuttivat katveja, siltapaikan viherkasvustot aiheuttivat myös näkymäesteitä mittauksille ja liikenne oli ajoittain erittäin vilkasta. Myös saateinen sää häiritsi mittauksia. Lähinnä aikataulusyistä johtuen korjaussuunnittelussa ei täysimääräisesti ehditty hyödyntämään tehtyä laserkeilausta.





Kuva 4. 3D-laserkeilaus käynnissä Oulun eteläisellä ratasillalla (Oulun yliopisto).

## 2.3 Yritysten kehittämisprojektit

### 2.3.1 WSP Finland Oy

WSP Finland Oy:n kehittämisprojektissa kehitettiin tuotemalleihin pohjautuvien sillansuunnittelumenetelmiä kotimaiseen ja kansainväliseen siltakonsultointiin sekä siltasuunnittelun palveluliiketoimintaan. Projektissa tehtiin siltasuunnittelun tarvemäärittelyt uusien siltasovellusten kehittämiselle, suoritettiin erilaisia ohjelmistotyökalujen testauksia sekä kehitettiin omaa suunnittelutoimintaa. WSP Finland Oy sai osalle projekteistaan Tekesin tuotekehitystukea. Projektissaan WSP verkottui muiden silta-alan kehitystyötä tekevien toimijoiden kanssa (mm. Tekla Oy ja Oulun yliopisto).

Projektissaan WSP Finland Oy on toteuttanut tuotemalleihin pohjautuvaa suunnittelua seuraavissa siltakohteissa:

Oulun Madekoskella sijaitsevan uuden ratasillan suunnittelu 3D-mallintamalla Tekla Structures –ohjelmalla. Suunnittelu valmistui keväällä 2006. Intiassa sijaitsevan uuden teräsrakenteisen ratasillan (Chenab) suunnittelu 3D-mallintamalla Tekla Structures –ohjelmalla. Helsingissä sijaitsevan Crusellin sillan suunnittelu 3D-mallintamalla Tekla Structures –ohjelmalla.

Vuoden 2007 lopussa WSP Finland Oy toteutti laajahkon asiakaskyselyn, jossa selvitettiin mm. rakennuttajien ja urakoitsijoiden toiveita ja tarpeita sekä kehitystavoitteita tuotemallien tuovan lisäarvon hyödyntämiseksi siltojen kokonaistoimintaprosessissa.

### 2.3.2 Siltanylund Oy

Siltanylund oli mukana suunnittelukonsulttina Destia Oy:n 5D-ST yritysprojektissa "ST-siltaurakoinnin kehittäminen 5D-teknologiaa hyödyntämällä". Tavoitteena projektissa oli siltasuunnittelun tarpeiden ja lähtötietojen määrittely sekä kehitettävien sovellutusten testaukset todellisissa testausalustoissa. Kyseisessä projektissa toteutettiin pilottikohteiden siltasuunnitelmat 3D-muotoon Teklan TS-ohjelmiston avulla. Yritysprojektin yhteydessä selvittiin tarve Tekla Structures -ohjelmiston uusille siltasuunnittelun tarvemäärityksille.

Siltanylund Oy seurasi lisäksi 3D- rakennesuunnittelun kehittymistä talo- ja teollisuusrakennesuunnittelussa emoyhtiönsä Finnmap Consulting Oy:n kautta ja pyrkii sieltä tuomaan lisätietoa oman toimialansa 5D-sillansuunnittelumenetelmien kehittämiseen.

### 2.3.3 YS Sito Oy

YS Sito Oy kehitti kehittämisprojektissaan siltojen suunnittelumenetelmiään. Kehitystyö aloitettiin yrityksessä diplomityönä (Ari Kouvalainen), jonka aiheena oli "Betonisillan suunnittelun tehostaminen 3D-tuotemallin avulla". Ohjausryhmään kuuluivat prof. Aarne Jutila (TKK), Lauri Salokangas (TKK), Timo Tirkkonen (Tiehallinto), Thomas Grönholm (Tekla Oy), Esko Rechardt (YS Sito Oy) ja Rauno Heikkilä (Oulun yliopisto).

Diplomityössä tutkittiin kuinka betonisillan suunnittelua voidaan tehostaa 3D-tuotemallin avulla. Samoin selvittiin 3D-mallintamismenetelmän onnistumista, hyötyjä ja mahdollisia haittoja betonisillan suunnittelussa. Työssä käytiin läpi 2D-suunnitteluprosessin perusperiaatteet, nykyinen suunnittelukäytäntö ja tarkasteltiin perinteisen suunnittelun tietovirtoja. 3D-tuotemallintamisen perusperiaatteet käytiin läpi ja selvitettiin tuotemallin prosessia. Työssä selvitettiin perinteisen 2D-suunnittelun ja 3D-tuotemallinnuksen väliset suunnitteluajan erot sillansuunnittelijoille tehtyjen haastattelujen pohjalta. Vastaavasti valotettiin urakoitsijan mielipiteitä tuotemallintamisen vaikutuksista rakentamiseen.

3D-tuotemallinnuksen soveltuvuutta sillansuunnitteluun tutkittiin kahden erityyppisen betonisillan osalta. Molempien siltojen osalta pyritään selvittämään 3D-geometrian mallintamista ja ohjelman omaksumista ja ensimmäisen sillan osalta myös raudoituksen mallintamista. Myös konkreettisia esimerkkejä ohjelman käytöstä esitetään. Työssä tehdään vertailuja perinteisen 2D-suunnittelun ja 3D-tuotemallisuunnittelun välillä. Samoin esitetään havaintoja molempien siltojen mallintamisesta. Lopuksi esitetään työn aikana syntyneet johtopäätelmät ja suositukset suunnittelun tehostamisesta 3D-tuotemallin avulla.

### 2.3.4 Ramboll Finland

5D-SILTA-konsortiossa Rambollin tavoitteena oli 3D-sillansuunnitteluprosessin kehittäminen. Ramboll on Suomessa tehnyt 3D-rakennesuunnittelua jo yli neljän vuoden ajan käyttäen SolidWorks- (maahantuoja CadON Oy) ja Tekla Structures -ohjelmilla. SW-ohjelmistoa on käytetty siltojen suunnitte-



luun, jossa SW:n vahvuutena on erityisesti ns. vaikeiden geometrioiden mallintaminen, tiedonsiirto-ominaisuudet ja alustavien suunnitteluvaiheiden nopeat mallinnukset. TS-ohjelmiston käyttö on yrityksessä painottunut talonrakentamiseen. Rambollin Oulun yksikkö käyttää nykyisin TS:ää myös sillansuunnitteluun. Tiensuunnitteluun Ramboll käyttää pääasiassa AutoCad-alustalle tehtyjä tiensuunnitteluohjelmistoja (Novapoint, VID). SolidWorks-ohjelmisto on kehitetty yleisen Parasolid-3D-ytimen varaan. Samaa käyttää myös mm. MicroStation-ohjelmisto.

Projektissa kehitettiin menettelyt tuotemallisuunnittelun hyödyntämiseen eri suunnitteluvaiheissa alustavista luonnosvaiheista lopulliseen rakennesuunnitteluun. Projektissa toteutettiin Nina Mikonsaaren diplomityö. Lisäksi kehitettiin erilaisia tarvittavia sovelluksia sillansuunnittelukäyttöön: koordinaattiluetteloiden ja SILAVA-määrälaskentaan ja kustannusarvioiden tekemiseen. Mallintamista on käytetty useissa eri suunnitteluprojekteissa (Henttaankaaren meluste, Lukkarin silta, Parikkala, Kotolahti, Tainionvirta, Viikinmäen S4, Kruunuvuorenselän silta, Kaivo ja Kannake).

### 2.3.5 Ponvia Oy

Ponvia Oy osallistui projektissa johtoryhmätyöskentelyn lisäksi Silta3D- ja Custom components –projekteihin. Oulun tiepiiriin toteuttamassa Silta3D-projektiin Ponvia osallistui sillasuunnittelun tuovana asiantuntijajäsenenä osallistuen siltojen 2D-piirustuksista tehdyn 3D-mallintamisen lisäksi suunnitelma- ja mittausmallien keskinäiseen vertailuun sekä projektin tuloksen merkitysarviointiin. Projektin loppuvaiheessa aloitetussa Custom components –projektissa Ponvia toteutti yrityksille osoitetun komponenttien kehitystyön.

### 2.3.6 Destia Oy

Destia Oy kehitti siltojen suunnittelu- ja rakentamisjärjestelmäänsä 5D-SILTA –kokonaisprojektin osana. Suunnittelujärjestelmän kehittämisessä yhteistyökumppaneina olivat Siltanylund Oy ja WSP Finland Oy. Destia aloitti projektiin liittyvän kehittämistyönsä teettämällä aiheesta esiselvityksen insinöörityönä Savonia-ammattikorkeakoulun opiskelijalla. Insinöörityötä on esitelty 5D-SILTA –projektin ohjausryhmän palaverissa.

Destia lähti omassa yritysprojektissaan ”ST-siltaurakoinnin kehittäminen 5D-teknologiaa hyödyntämällä (5D-ST)” kehittämään nykyistä sillanrakennusprosessia entistä tehokkaammaksi ja uusia, jo kehitettyjä tai kehitteillä olevia, työkaluja hyödyntäväksi. Projektipäällikkönä Destian projektissa toimi Ari-Pekka Olkkonen ja projekti-insinöörinä Minna Salonsaari.

5D-ST-projekti kesti vuoden 2008 loppuun, ja sen lopputuloksena tuotetaan Destialle kolmiulotteista suunnitteluttamista ja tuotemallipohjaista projektinohjausta tukeva toimintomalli. Toimintomallin tehtävänä on ohjata rakennusprojektin eri osapuolia käyttämään tuotemallia mahdollisimman tehokkaasti koko sen keston ajan.

Tavoitteena on hyödyntää 3D-mallia koko ST-urakan ajan. Laadittua mallia on mahdollista hyödyntää tilaajan eri toiminnoissa urakan luovutuksen jäl-



keen rakenteen ylläpitoa varten sen elinkaaren ajan. Edelleen Destian tavoitteena oli testauskohteiden siltasuunnitelmien toteuttaminen Tekla Oyj:n kehittämällä sovelluksella. Suunnitelmatiedot siirretään Destian omiin järjestelmiin sekä Teklan kehittämään työmaajärjestelmään. Tuotemallia pyritään hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti rakennustyön suunnittelussa ja toteutuksessa (3D, 4D, 5D).

Destialla oli projektissa kaksi testausalustaa, Uuron työmaalla sijainnut Kankaalan risteyssilta (S4) ja Hakamäentien työmaalla sijaitseva Keskuspuiston ylikulkukäytävä (S8). Uuron työmaalla laserkeilattiin muotti ja valmis kansirakenne (Oulun yliopisto, Destia) sekä testattiin Terrasolid Oy:n kehittämää mittausjärjestelmää. Hakamäentien työmaa aloitettiin huhtikuussa 2008, mihin suunniteltiin toteutettavaksi useampia työmaamittaussovelluksia, joissa hyödynnetään 3D-mallia. Hakamäentiellä on suunniteltu testattavaksi myös mallin hyödyntämistä työmaalla aikatauluttamiseen ja hankintoihin liittyvissä tehtävissä.

### 2.3.7 Skanska Infra Oy

Skanska Infra Oy:ssä on havaittu sillanrakentamisen nykyisessä toimintaketjussa puutteita ja tehostamistarpeita. Pääasiassa nämä asiat liittyvät tietotekniikan laajempaan hyväksikäyttöön työmailla ja ST-suunnittelussa. Kehityskohteina hankkeessa oli tuotemallintamisen liittäminen työmaatoimintoihin.

Hankkeessa nähdään mahdollisina ja saavutettavissa olevina hyötyinä oman organisaation toiminnan tehostamisen mahdollisuudet, kustannussäästöt ja laatuhyödyt ja virheiden vähentyminen. Skanska-konsernin osana Skanska Infra Oy:llä on mahdollisuus Suomessa kehitettyjen uusien teknologioiden ja menetelmien tehokkaaseen markkinointiin ja vientiin globaalissa Skanska-konsernissa.

Hankkeen tavoitteena oli kehittää tuotemallipohjaista suunnittelu- ja rakentamisprosessin tietovirtaketjua, joka palvelee entistä paremmin työtä toteutavaa porrasta. Tavoitteena oli saada kokonaisuus suunnittelutoimistosta siltamonttuun ja lopulta tilaajalle luovutettavaan dokumentointiin asti toimimaan mahdollisimman tehokkaasti. Kehityshanke jakautui kolmeen osaan: projektin suunnitteluvaihe ja rinnakkain toteutetut selvitysosa ja testausosa. Suunnitteluvaiheessa luotiin raamit muulle kehitystyölle. Siitä ei raportoida muuta. Selvitysosassa tehtiin kartoitus tuotemallien tämän hetken tilasta ja mahdollisuuksista Skanska Infra Oy:n näkökulmasta ja tarpeisiin. Selvitystä toteutettiin vapaamuotoisina keskusteluina, kirjallisuustutkimuksina ja alan tapaamisina.

Testausosassa testialustana käytettiin Vt2 Vihti-Pori -hankkeeseen sisältynyttä Huhmarin risteyssiltaa. Silta oli muutama vuosi aikaisemmin korjattu, mutta valtatie parantamisen yhteydessä siltaa tuli jatkaa toisesta päästä. Sillan jatkamisen suunnittelun ja toteutuksen apuna kokeiltiin laserkeilausta. Keilaamalla hankittiin lähtö- ja toteumatieto sillan päällysrakenteesta. Silta keilattiin kaksi kertaa: ennen katkaisua ja täysin valmiina.

Ennen sillan katkaisua tehdyllä keilauksella hankittiin lähtötieto tuotemallipohjaiseen suunnitteluun ja vertailumalli toteumaa varten. Sillan jatkamisen

suunnitteli WSP-Finland Oy Tekla Structures -ohjelmistoa hyväksikäyttäen. Täysin valmiin sillan keilauksella hankittiin toteumamalli. Työmaalle suunnitelma toimitettiin perinteisinä piirustuksina. Lisäksi epäselvistä tai muuten lisätietoa vaativista kohdista työmaalle toimitettiin värillisiä 3D-kuvantoja TS-mallista. Tuotemallia ei muuten käytetty tai sovellettu työmaalla.

### 2.3.8 Tekla Oyj

Vastuullisena projektipäällikkönä toimi Teklan Building & Construction (B&C) puolesta Thomas Grönholm (Nordic sekä Baltian alueen myyntipäällikkö). Teknisenä avustajina toimi Sampo Pilli-Sihvola sekä Jari Patanen sekä tilaaja- ja urakoitsijatyökalun kehitystyöstä vastannut Jukka Suomi sekä Petri Heinonen. Erkki Mäkinen sekä Markku Alanko vastasivat tämän projektin liittyvästä Tekla Xstreet -sovelluksen jatkokehityksestä. Pääpaino Teklan omassa kehitysprojektissa oli Tekla Structures (TS) -ohjelmiston kehittäminen tehokkaaksi siltasuunnittelijatyökaluksi. Projektissa määrittiin, kehitettiin sekä pilotoitiin oikeissa hankkeissa myös aivan uutta työkalua urakoitsijoille, tilaajille sekä projektipäälliköille. Tekla tutki myös tapoja, joilla voitaisiin siirtää Tekla Xstreetistä luotuja lähtötietoja Tekla Structures -ohjelmistoon.

### 2.3.9 Terrasolid Oy

Vastuullisena johtajana toimi *Esa Haapa-aho*. Terrasolid Oy jatkoi Älykäs silta -projektissa aloittamaansa tuotekehitystä ja kehittää uusia Trimblen takymetriä ohjaussovelluksia ja MicroStation-sovelluksia aiemmin tehtyjen määrittelyiden pohjalta. Yleistavoitteena oli mobiilien ja rakenteellisiin tietomalleihin verkotettujen 3D-mittaussovellusten kehittäminen Terrasolid Oy:n MicroStation-tuoteperheeseen. Projektissa tutkittiin avoimen IFC-tiedonsiirtoformaatin soveltuvuutta rakenteellisen tuotemallin ja mittaussovellusten väliseen älykkääseen tiedonsiirtoon. Tiedonsiirtoa kokeiltiin IFC-formaatilla ensisijaisesti Tekla Structures-ohjelmistolla mallinnettavasta betonirakenteiden tuotemallista. Lisäksi tutkittiin teräsrakenteiden tuotemallin tietosisällön siirtämistä IFC-formaatilla.

### 2.3.10 Geotrim Oy

Geotrim Oy:n tehtävänä projektissa oli 3D-mittaustekniikoiden järjestäminen projektin käyttöön koko projektin ajalle, takymetriä ohjelmistokehityksen tukeminen, työmaan mittausmenetelmien tutkimus ja kehitys, Trimble-koneohjausjärjestelmien kehittymisestä tiedottaminen ja tarjoaminen projektin hyödynnettäväksi sekä mahdollisiin Trimblen järjestelmiä käyttäviin koneohjauskokeisiin osallistuminen.



### 3 TULOKSIA

#### 3.1 5D-SILTA-kokonaisprojektin tuloksia

5D-SILTA-kokonaisprojekti toteutui pääpiirteittäin projektisuunnitelman mukaisesti. Useita yritysprojekteja aloitettiin ja ne jatkuvat edelleen vuonna 2008. Oulun tiepiirissä saatiin päätökseen Kajaanin varikkosillan korjauskentämishankkeessa toteutettu automaatiokehityskokeilu. Lisäksi Oulun tiepiirissä toteutettiin Silta3D-projekti. Molemmista projekteista laadittiin loppuraportti, joka jaettiin 5D-SILTA-konsortion jäsenille (ks. viiteraportit).

Silta on infra-alan yksi merkittävä hankeosa, jossa olennaista on kokonaisuuden hallinta ja eri osien toisiinsa kytkeminen. Eri mallinnusohjelmilla on vielä omat ongelmansa vastata silta-alan haasteisiin. Toisille siltojen ja niihin liittyvien teiden haastava geometria tuottaa ongelmia ja toisilla älykkään tiedon lisääminen tuotemalliin on vielä puutteellista.

Tekla Structures -ohjelmalla älykkään tiedon lisääminen ja detaljien mallintaminen on jo hyvin mahdollista, joskin välillä aikaa vievää. Haastavan (kahteen suuntaan yhtä aikaa muuttuvan) geometrian mallintaminen on aikaisemmin ollut osin jopa mahdotonta. Viimeisimmissä kehityshankkeissaan Tekla Oyj on kuitenkin panostanut tämän ongelman ratkaisuun onnistuneesti. Myös urakoitsijoita palvelevia määrä- ja aikataulutusominaisuuksia on lisätty Tekla Structures -ohjelmaan. Piirustusten tuottaminen on toistaiseksi vielä työlästä ja tähän olisi osin ratkaisuna silta-alan yhteisten tuotemallipohjaisten piirustusstandardien luominen.

Kokeissa laserkeilattu pistepilvi todettiin tarkaksi ja havainnolliseksi lähtöaineistoksi (referenssi) sillansuunnitteluun. Pisteitä tarvitsee saadun kokemuksen ja näkemyksen perusteella harvoin mallintaa pinnoiksi sillasuunnittelua varten. Jatkokehityksen kohteeksi sopisikin hyvin tuotemallien ja mittalaitteiden automatisointi, jolla olisi mittava merkitys kokonaisprosessin hallintaan ja tehokkuuteen.

Työläintä sillansuunnittelussa on kuitenkin ns. detaljisuunnittelu. Tämän ongelman parantamiseksi suunniteltiin ja käynnistettiin syksyllä 2007 Custom components -projekti. Projektin tavoitteena oli kehittää sillansuunnittelun parametrisoitujen peruskomponenttien kirjasto. Projekti jatkuu ja päätetään 2008 loppupuolella.

#### 3.2 Konsortion yhteiset kehittämishankkeet

##### 3.2.1 Kajaanin varikkosilta

Kajaanin varikkosillan korjaussuunnittelussa kokeiltiin 3D-laserkeilauksen hyödyntämistä korjaussuunnittelun lähtötietona (Oulun yliopisto, WSP Finland Oy). Mitattu pistepilvi (kuva) mallinnettiin 3D-pinnoiksi ja murtoviivoiksi. Suunnittelijan luoma Tekla Structures-malli siirrettiin edelleen Terrasolid Oy:n TerraScan-ohjelmaan, jossa suunnitelmamallia voitiin havainnollisesti verrata mitattuun pistepilveen.

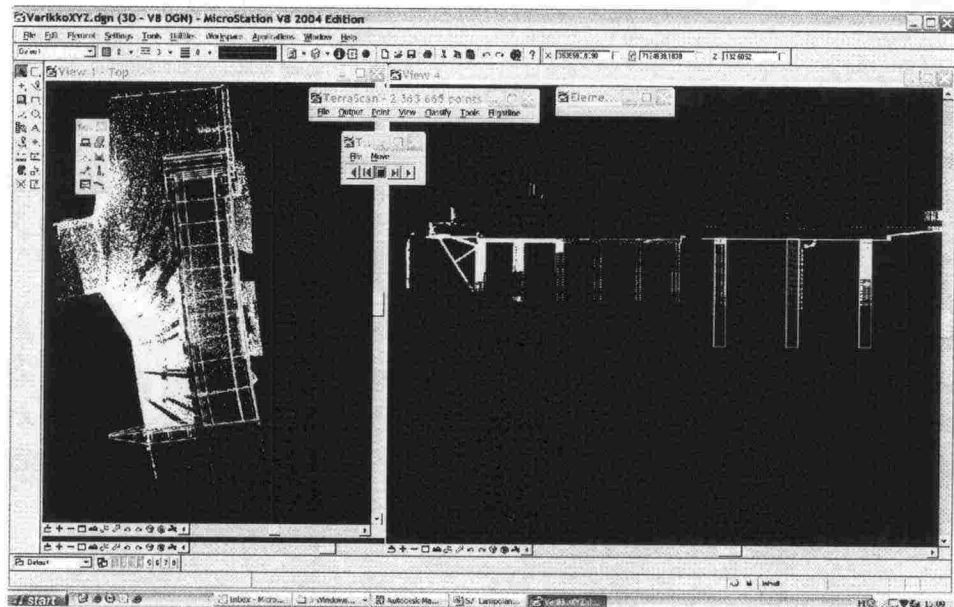




Kuva 5. Laserkeilaus käynnissä Kajaanin varikkosillalla (Oulun yliopisto).



Kuva 6. Kajaanin varikkosillan laserkeilauksen tulos – yhdistetty pistepilvi (Oulun yliopisto).



Kuva 7. TS-suunnitelman mallin vertailu laserkeilattuun pistepilveen (MicroStation v8, TerraScan, WSP Finland Oy).

Suunnittelijan mukaan mitattu aineisto oli helposti käsiteltävissä käytettävissä olevilla tietokoneilla ja ohjelmistoilla. Tulkinta tehtiin pääsääntöisesti rakenteesta ja mittausaineistosta leikkauskuvantoja, joiden syvyys oli mahdollisimman pieni kuitenkin siten, että leikkauksessa oli riittävästi pisteaineistoa arviointia varten. Lähes kaikki tutkimuksen tavoitteeksi asetetut geometrian tarkistukset voitiin laserkeilausaineiston avulla suorittaa. Suorittamatta jääneet tarkistukset (mm. porapaalujen sijainti, vanhan siltakannen muodonmuutokset) johtuivat joko keilausaineiston puuttumisesta tai riittämättömyydestä ja ne olisi voitu suorittaa lisämittausten avulla. Onnistuakseen laserkeilauksen suorittaminen vaatii mittauksen toteutuksen suunnittelua ja kattavaa mittauksia. Jotta aineistosta voidaan selvittää luotettavasti tarvittavia rakenteiden mittoja, tulee mitattu pisteaineisto olla riittävän tiheä. Tasaisissa pinoissa jopa hiukan alle 50 pisteen tiheys neliömetrille riitti käytettyä menetelmällä sijaintien arviointiin.

Mitatun aineiston arvioinnissa olisi myös kehitettävää. Pisteaineiston automaattinen vertaaminen suunnitelman mallin pintoihin nopeuttaisi ja helpottaisi arviointia. Laserkeilaamalla tehtävät tarkemittaukset mahdollistavat huomattavasti laajemman rakenteiden mittojen kelpoisuuden tarkistamisen kuin mitä Sillan laatuvaatimuksissa (SYL) on esitetty. Laserkeilausaineistolla voidaan arvioida koko rakenteen sijainti missä tahansa kohdassa. Voidaan päätellä, että laserkeilaamalla mitatun aineiston kattavalla analyysillä voidaan mahdolliset poikkeamat todeta muissakin rakenteiden kohdissa kuin mitä SYL:ssä on esitetty. Suoritettu tutkimus vahvistaa käsitystä laserkeilauksen tehokkuudesta rakenteiden mittauksissa.

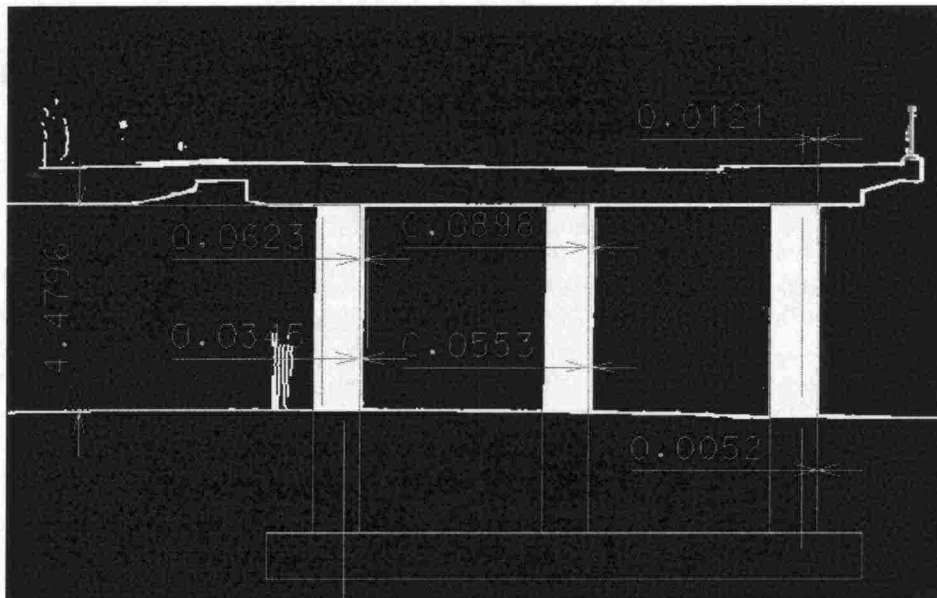
Siltojen korjausrakentamishankkeisiin laserkeilaus tarjoaa erittäin tehokkaan ja tarpeellisen lähtötietojen hankintakeinon. Vanhat siltarakenteet eivät koskaan ole täysin suunnitelmapiirustusten mukaisia. Laserkeilaamalla lähtötietojen mukainen todellinen siltarakenne ja mitat saadaan tarkasti selville. Kokemuksen perusteella on todettu, että ilman mittauksia korjausprosessi



etenee jatkuvana "suunnitelmien muutosprosessina" liitos- tai muutospintojen osalta.

Tutkimuksen perusteella voidaan päätellä, että laserkeilaaminen kannattaa ottaa siltojen korjausrakentamisprosessissa systemaattisesti käyttöön. SYL-toleranssivaatimuksien uudistamista 3D-mittauksiin soveltuvaksi kannattaa tutkia. Sinänsä skalaariset SYL-toleranssien mittapoikkeamat voidaan aina laskea 3D-pistepilvestä.

Kohteen urakoitsijan mukaan rakentamisvaiheessa ei syntynyt tilannetta, että olisi pitänyt 3D-mallista tutkia ongelmakohtaa tai jos sellainen tilanne oli syntynyt, nopein tapa oli kuitenkin hoitaa asia puhelimitse. Suunnitelmissa käytettyyn mallinnusohjelmaan liittyviä puutteita havaittiin jonkin verran. Rakenne- ja mittaviivojen samat paksuudet etenkin monimutkaisessa rakenteessa vaikeuttivat piirustusten tulkintaa. Mittaviivojen tarkassa kohdentamisessa oli joitain epätarkkuuksia.



Kuva 8. Tuotemallin ja laserkeilatun pistepilven vertailua (Kajaanin varikkosilta).

Siltarakenteiden liitoskohdassa havaittiin uuden ja vanhan kansirakenteen välillä tasoero. Työn edetessä havaittiin, että vanhassa siltakannessa oli useita toisistaan erilaista poikkileikkausta tasoerojen suhteen. Rakenteiden lähtötilanteen keilaus ei voinut tuoda esille vallitsevaa tilannetta betonirakenteen pinnassa (pintojen päällä oli eristys ja päällysteet). Saumakohdasta olisi voinut ottaa useita poranäytteitä, joista olisi selvinnyt päällysteen paksuus ja samoin vanhan rakenteen eristysmateriaali. Uuden ja vanhan sillan välisäärekkeeltä olisi voinut ottaa mittauksia eristepinnasta.

Liikuntasaumalaitteiden liitokset keskisaarekkeille tultaessa ja liityttäessä vanhoihin laitteisiin eivät onnistuneet suunnitelmassa esitetyllä tavalla. Vanhat laitteet, jotka sijaitsivat keskisaarekkeen kiveyksen tasossa, olivat tienpintaan nähden ylempänä, joten laitteiden päihin jouduttiin rakentamaan ylösnostot, jotta laitteen profiilit olisivat samassa tasossa. Keilaus ei ilmeisesti ole ulottunut liikuntasaumoihin tai sen tulkinnessa oli vielä kehittämistä.



Ongelma laserkeilauksessa oli urakoitsijan näkökulmasta se, että keilaussäde ei pysty tunnistamaan materiaaleja ja varsinkaan eri kerroksissa olevia materiaaleja. Halutun rakenteen pinta tulee saada silloin jollakin muulla menetelmällä esille, esimerkiksi jonkinlainen rakenteen sisäinen tutkaus voisi tulla kysymykseen. Saadut tiedot tulisi kerätä yhdeksi kokonaisuudeksi. Yhden kohdan tutkiminen ei riitä, vaan haluttu rakenteen pinta tulee saada tietoon joka paikasta.

Laserkeilaus ja 3D-mallin luominen palveli tässä kohteessa ensisijaisesti suunnittelijaa. Näin varsinkin sellaisissa hankkeissa, joissa tilaaja on suunnitteluttanut kohteen ja urakoitsija saa valmiin rakenteen piirustukset. Tilanne voi muuttua siinä tapauksessa, jos urakoitsijalle kuuluu myös hankkeen suunnittelu. Suunnittelijan olisi pystyttävä määrittämään suunnittelun kannalta rakenteen tärkeät kohdat ja sitä kautta ohjeistamaan keilaustyön suorittajat. Nyrkkisääntönä voisi olla, että vähintään kaikki uuden ja vanhan rakenteen liittymäpinnat sekä purettavan rakenteen sisällä olevat, mutta takaisin asennettavat laitteet (esimerkiksi valaisinpylväät) mitataan.

### 3.2.2 Uudenmaan tiepiirin kehittämishanke

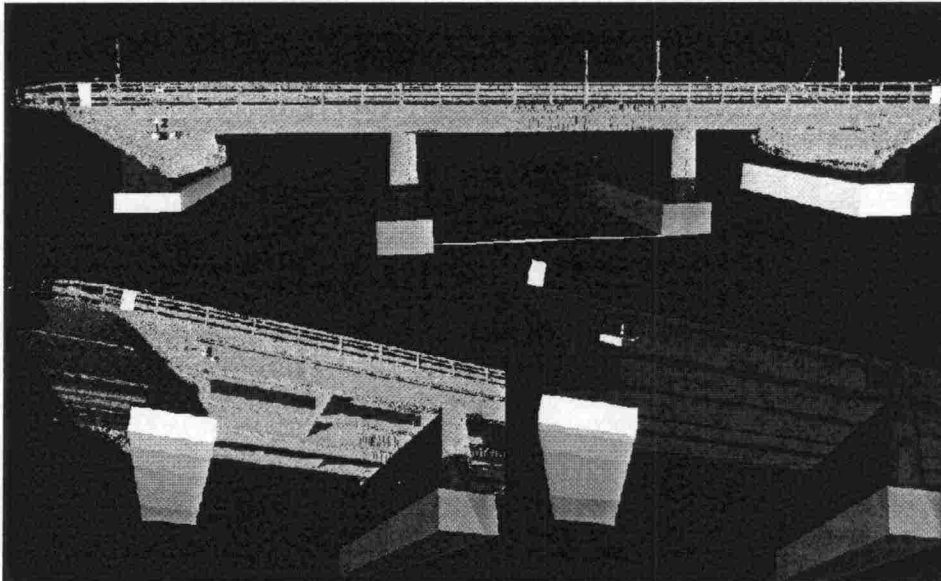
Kaikista mittauksista tehtiin tulkinnot ja tulokset raportointiin kesällä 2007 (ks. viiteraportit). 3D-siltatutkaus aloitettiin kahdella sillalla, jolloin tulkintaohjelmaan vietäessä havaittiin ongelmia. Tästä syystä kaikki seitsemän siltakohdetta mitattiin sekä 3D- että 2D-tutkalla. Mittauksen tavoitteena oli mahdollisten vauriopisteiden kartoitus, jonka perusteella suoritettaisiin myöhemmät täsmäpistetutkimukset. Kun hankkeet ovat edenneet korjaukseen ja pinnat poistettu, tavoitteena on, että Roadscanners käy mittaamassa kohdat vielä uudelleen (ei enää häiriötekijöitä). Korjaukset toteutunevat 2009. Täsmäporaukset on siten vielä tekemättä. Sipoonlahden silloilla (onnistunut 2D-tulkinta) tehdään erityinen täsmäporaussuunnitelma, ja tavoitteena on verrata tästä saatuja tuloksia kokonaisuuteen. Talven 2008 aikana Roadscanners Oy kehitti tulkintaohjelman prosessointi- ja tulkintaparametrejaan ja sai 3D-tulokset vastaamaan paremmin 2D-tuloksia. Roadscanners antoi myös kehittämisideoita 3D-antennivalmistajalle uuden siltatutkimukseen paremmin soveltuvan 3D-antennin kehittämiseksi.

Suojabetoni, vedeneriste ja sillan mahdollinen soratäyte luovat haasteita tulkintaan. 3D-tutkalla mittauslinjojen väli on 15 cm ja 2D-tutkalla 50 cm. 3D-tutkalla saadaan täten tarkempi tulkinta. Jatkoideana on parantaa tutkauksen luotettavuutta sekä pohtia erikoistarkastuksen ja yleistarkastuksen ajoituksia. Laserkeilaus soveltuu hyvin kaikkiin siltoihin. Laserkeilaamalla saadaan todellinen tarkka lähtötieto kohteesta. Roadscanners Oy ja Neopoint Oy ovat tehneet yhteistyötä keilaus- ja tutkaustulosten yhdistämisessä. Korjaussuunnittelun kehittämiseen tarvittaisiin uusi projekti. Parhaillaan pohditaan, tarvittaisiinko kuntotutkimusmenetelmiin muutoksia (pintarakenne maksaa eniten, optimointi mahdollisuudet). Massanhallinta on myös pinta-korjauksissa oleellista (päälysteen massan määrä, suojabetonin määrä, jyr-sinnän tarvealue, jyr-sinnän syvyys).

### 3.2.3 Silta3D-projektin tulokset

Laserkeilausprojekti osoittautui yliopiston tutkijoille erittäin mielenkiintoiseksi ja opettavaiseksi. Mittaajat saivat hyvää käytännön kokemusta Leica HDS-3000 –maalaserkeilaimesta ja suorituskyvystä eri tilanteissa. Leica HDS-3000 järjestelmän Cyclone-ohjelma osoittautui helppokäyttöiseksi ja monipuoliseksi. Samalla ohjelmalla voidaan suorittaa itse keilaus sekä jälkitoimenpiteet kuten pistepilvien yhdisteleminen ja niiden muokkaaminen. Saatujen tulosten perusteella voi järjestelmän arvioida soveltuvan hyvin siltakeilauksiin. Mittausten kanssa ei ollut erityisiä ongelmia, vaikka pisimmät mitta-  
usmatkat olivat selvästi yli 100 m. Suurin kehittämistarve laitteessa oli ehkä mittaussnopeus: suurella tarkkuudella ja mitta-alueella keilaus ainakin tuntuu kestävän turhan kauan.

Saatuja pistepilviä verrattiin yliopistolle toimitettuihin, 2D-suunnitelmapiirustusten perusteella mallinnettuihin 3D-tuotemalleihin. Vertailun tuloksena teoreettiset mallit vaikuttavat olevan melko raakileita ja osin poikkeavan koh-  
tuullisen paljonkin todellisesta rakenteesta. Mallin hyödynnettävyys siltajon ylläpidon ja korjauksen prosesseissa on aika kyseenalaista tai vaatii ainakin paljon jatkokäsittelyä. Selkeästi tarkemmat ja käyttökelpoisemmat 3D-mallit voidaan saada laserkeilaamalla aluksi nykyinen siltarakenne ja vasta tämän jälkeen mallintamalla rakenteet sekä 3D-pistepilviä että 2D-piirustustietoja hyväksi käyttäen. Kaikki rakenneyksityiskohdat eivät joka tapauksessa "näy" laserkeilaustuloksista, joten siltapiirustuksiakin tarvitaan.



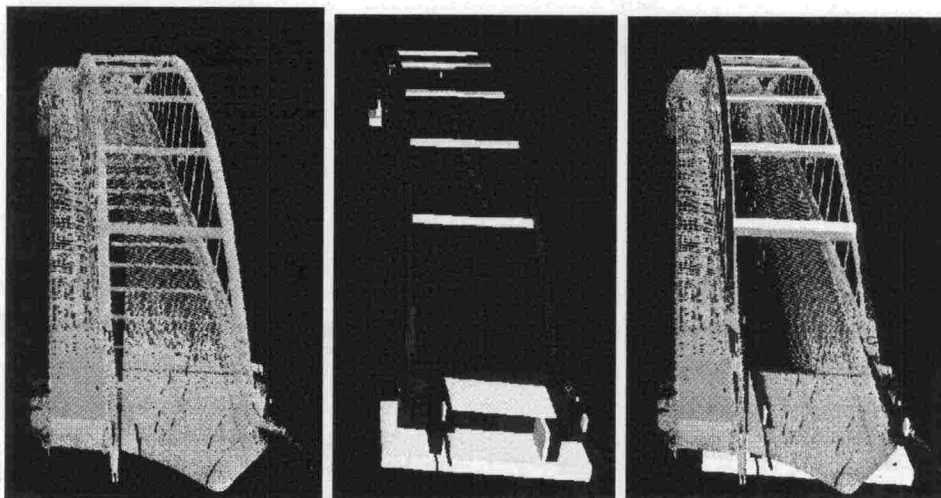
Kuva 9. Mitattuja pistepilviä ja lähtötietomalleja (Oulun yliopisto).

Konseptikuvauksen edetessä työryhmällä oli monenlaisia näkökantoja mittauksista. Aluksi oltiin sitä mieltä, että laserkeilaus ja siitä saatavan tiedon analysointi ja yhdistäminen 3D-lähtötietomalliin eivät tule kysymykseen jokaisen sillan kohdalla. Projektissa tehtyjen havaintojen ja hyötyjen sekä saatujen kokemusten perusteella laserkeilauksen tekeminen siltajon muunnostyön osana katsottiin kuitenkin työryhmän mielestä aiheelliseksi jokaisen 3D-muunnostyön kohteeksi tulevan sillan kohdalla. Mittaukset ja niiden suorittaminen ovat tietenkin myös kustannuskysymys. Markkinahinta mittauksille



vaihteli projektin aikana 2000 €-5000 € välillä. Joidenkin siltöjen kohdalla hinta voi nousta suuremmaksikin, mikäli joudutaan luomaan siltakohtaisia mittausvälineitä ja -tapoja maasto- ja vesistöolosuhteiden pakosta.

Silta3D-projekti tuotti konseptikuvauksen, jossa on selvitetty malli ja menettelytavat nykyisten 2D-siltasuunnitelmien muuttamiseksi 3D-muotoon (ks. viiteraportit). Lähtökohtana on ollut ohjelmistoriippumattomuus ja ratkaisujen avoimuus.



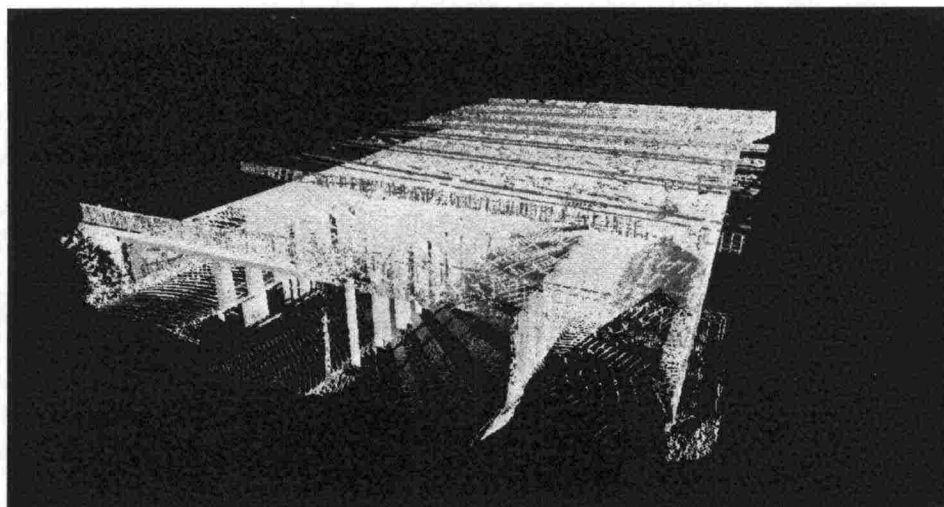
Kuva 10. Haukiperän silta – 3D-mallien yleistarkastelua. Sillasta jalankulkijoiden osaa ei löytynyt lähtötiedoksi saduista piirustuksista ja se oli siksi jäänyt mallintamatta (Oulun yliopisto).

### 3.2.4 Oulun eteläinen rautatien alikulkusilta

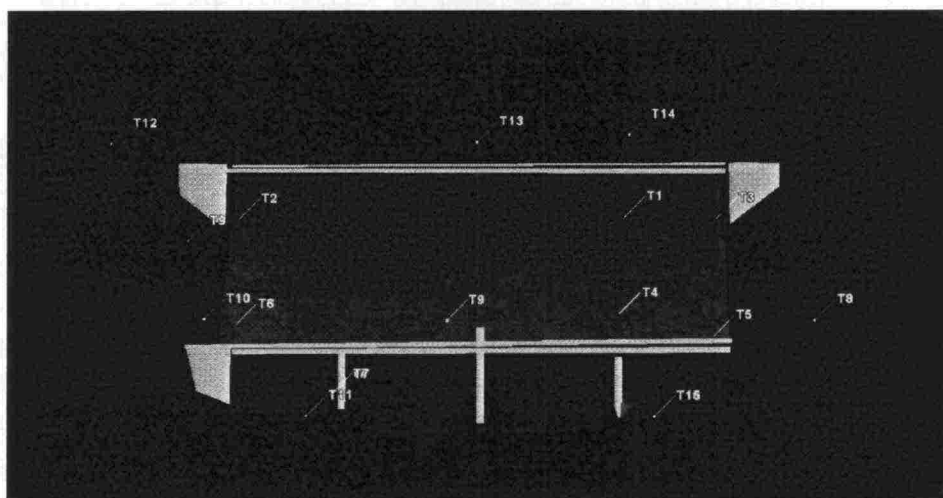
Sillan rakenteet ja lähiympäristö laserkeilattiin. Aineistoa käytettiin suunnittelun lähtötietona. Kohteessa kokeiltiin ja kehitettiin pintojen automaattista mallintamista laserkeilausten pistepilvien perusteella. Rakentamisessa ei kuitenkaan voitu toteuttaa 5D-kehitystoimenpiteitä.

Oulun eteläinen ratasilta oli korjauskohde, jossa korjausten pääpaino oli pintakorjauksissa (ns. kevyt korjauskohde). Sinänsä laserkeilauksista tulokseksi saatu yhdistetty pistepilvi tarjoaa suunnittelijalle erittäin laajan informaatiopakettin ja tarkan lähtökohdan sillan korjaustoimien suunnittelulle. Pistepilvestä erottuvat hyvin myös radan päälliset pilarit, portaalit ja sähkölangat samoin kuin ympäröivä maasto-, kaupunki- ja tieinfrastruktuurit. Pistepilvi on myös mahdollista mallintaa pintamalliksi, jolloin tiedostokokoa ja tarpeellista informaatiota voidaan tiivistää ja siten tiedonsiirtoa suunnittelutyökaluihin helpottaa. Tutkittavaksi jäi laserkeilausjärjestelmien oman analyysi- ja mallintamisohjelmiston käytettävyyden suunnittelijan työkaluna.





Kuva 11. Oulun eteläisen ratasillan yhdistetty 3D-pistepilvi (Oulun yliopisto).



Kuva 12. Oulun eteläisen ratasillan 3D-pintamalli (Oulun yliopisto).

### 3.3 Yritysten kehittämisprojektit

#### 3.3.1 WSP Finland Oy

WSP:n toteuttaman asiakaskyselyn perusteella 5D-suunnitteluun ja tuotemallien laajempaan käyttöönottoon kokonaisuudessaan suhtauduttiin positiivisesti. Käyttöönottoa hidasti epävarmuus ottaa uudet järjestelmät käyttöön, sitoutuminen tiettyihin teknisiin järjestelmiin sekä alan yhteisen toimintamallin puute.

Alan yhteinen toimintamalli madaltaisi huomattavasti kynnystä siirtyä tuotemallipohjaiseen toimintatapaan sekä suunnittelussa, rakennuttamisessa että rakentamisessa. Tuotemallinnusstandardit ja ohjelmarajapinnat, mallien tiedonsiirto sekä arkistointi ja tallentaminen esimerkiksi siltarekisteriin ovat vielä hyvin epäselviä asioita useimmille tahoille. Tuotemallivaatimusten laadin-

taa suoritetaan teoriapohjalta koska yleistä osaamista ja kokemusta eri osalualueilta ei ole riittävästi. Asiaa veisi varmasti parhaiten eteenpäin, jos tulevien pilottiprojektien yhteydessä alettaisiin laatia kyseisiä vaatimuksia ja toimintamalleja. Tiehallinnon rooliin johtava tilaajatahona voisi kuulua vetovastuu tuotemallivaatimusten kehittämisestä ja testaamisesta pilottihankkeiden yhteydessä.

Siltaurakoitsijoiden taholta nousi yllättävääkin kiinnostusta uuden toimintatavan käyttöönotolle. Jos kiinnostus saadaan realisoitua käytännön toimenpiteiksi, lähitulevaisuudessa on odotettavissa merkittäviä toimenpiteitä, joilla tuotemallien tuoma lisäarvo hyödynnetään monipuolisesti rakentamisessa. Yksittäisinä asioina nousivat esille mm. laserkeilauksen käyttö rakentamisen eri vaiheissa sekä tuotemallin kytkeminen rakentamista ohjaaviin tietojärjestelmiin, esimerkiksi aikataulutukseen ja kustannusten hallintaan.

Tuotemalleihin liittyvien teknisten ratkaisuiden avoimuus nousi esille keskusteluissa useiden eri tahojen kanssa. Yleisen formaatin haasteet ovat suuret ja onnistunut toteutus on riippuvainen eri ohjelmistotalojen halukkuudesta yhteistyöhön. Tekla Structures -ohjelman asema rakennusalan tuotemallinnuksen ykköstyökaluna Suomessa on ilmeinen. Sitä himmentää kuitenkin haastavan, varsin usein jopa kompleksisen siltageometrian mallintamisen hankaluus detalji- ja raudoitettarkkuudella, koordinaattijärjestelmien käytön rajoitukset sekä hyvälaatuisten teräsbetonirakenteiden piirustusten tuottamisen suuri työmäärä. Ohjelmistokehityksessä on kuitenkin asia tiedostettu ja näyttää siltä, että myös siltarakenteiden mallintaminen saadaan tehokkaammaksi.

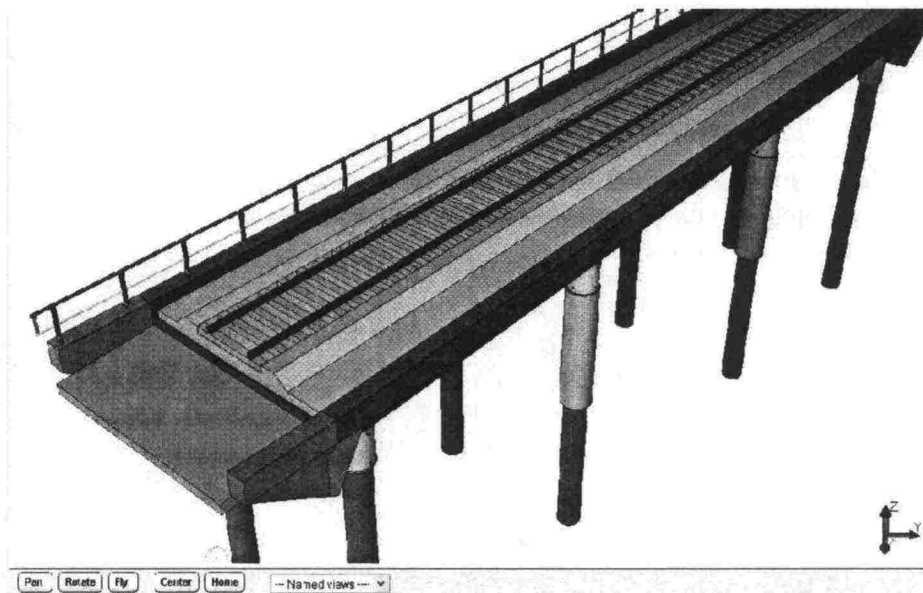
Siltojen tuotemallipohjainen suunnittelu ei ole yleistynyt niin nopeasti kuin 5D-silta -projektin alussa arvioitiin. Syinä tähän ovat olleet mm. teräsbetonirakenteita helpommin toteutettavien teräs- ja liittorakennekohteiden vähäisyys markkinatilanteesta johtuen, urakoitsijoiden vähäinen panostus uuden toimintatavan kehittämiseen sekä tilaajavetoisten kehittämistoimenpiteiden toteutumattomuus rakennushankkeissa.

Projektin aikana on kuitenkin toteutunut merkittäviä tuotemallien käyttöönottoa edistäviä asioita. Konsulttien yhteistyössä aloittaman yleisen siltojen 3D-komponenttikirjaston toteutuminen alentaa kynnystä siirtyä tuotemallintamiseen. Rakennuttajien ja urakoitsijoiden tietoisuus tuotemalleista ja kiinnostus tuotemallien käyttöön on kasvanut sekä positiiviset kokemukset tuotemalleista talonrakennusosalta ovat saaneet kehitystavoitteisiin lisävauhtia. Näyttääkin siltä, että lähivuosien yhdessä toteutettavissa jatkokehityshankkeissa mitataan 5D-toimintatavan hyödyt sekä luodaan toimintamalleja ja suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden verkottuneita yhteistyömuotoja silta-alan kehittämiseksi edelleen.

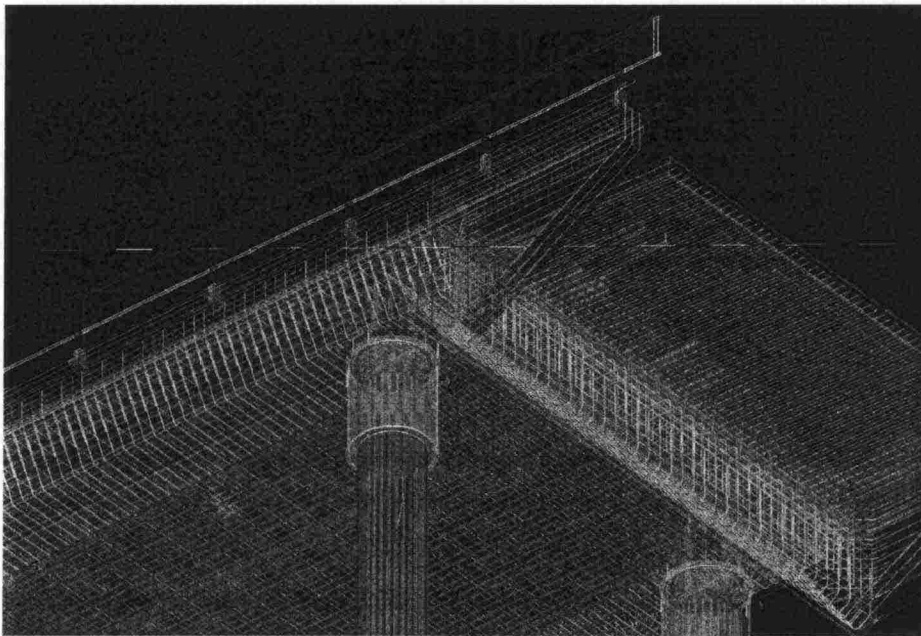
WSP Finland Oy toteutti Juurussuon alikulkusillan onnistuneesti tuotemallipohjaisesti. Kaikki rakennepiirustukset ja rakenteiden määrätiedot tuotettiin suoraan tuotemallista, lienee ensimmäisenä teräsbetonisena siltakohteena Suomessa. Mallinnuksen yhteydessä myös kehitettiin edelleen siirtomenetelmällä rakennettavan sillan paaluperustusten ja kannen liitosta. Suunnittelun haasteet liittyivät lähinnä siirtomenetelmällä rakentamiseen, itse rakenteet ja geometria oli tavanomainen.



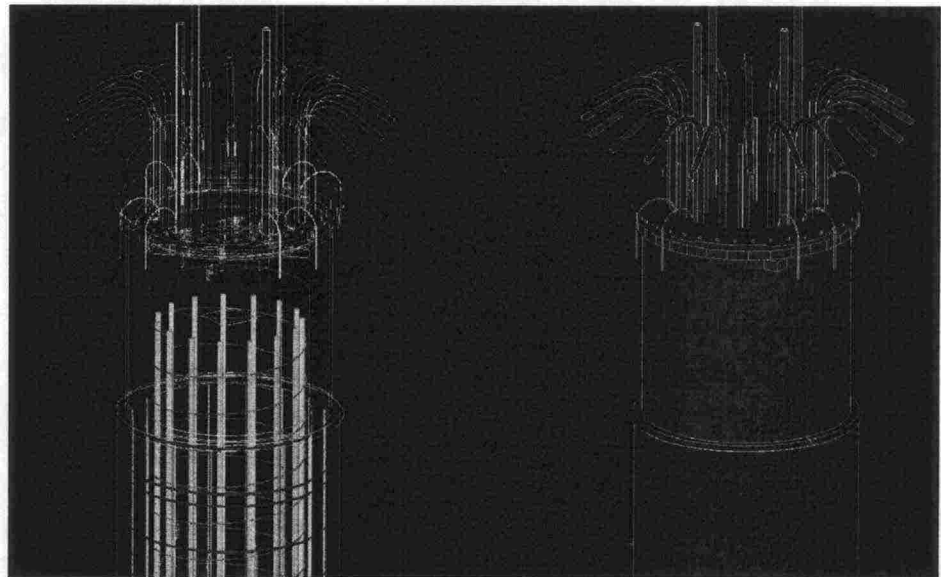
Kohteen rakennesuunnittelun todettiin olevan kyseisen tyyppisiin kohteisiin täysin mahdollista tuotemallintamalla. Rakennesuunnitelmien voitiin todeta olevan havainnollisemmat mm. 3D-esitystavan avulla toteutettuna. Rakentamisessa tuotemalleihin liittyviä testaus- tai kehitystoimenpiteitä ei toteutettu.



Kuva 13. Oulun Madekosken teräsbetonisillan 3D-malli (WSP Finland Oy).



Kuva 14. Madekosken sillan 3D-raudoite (Tekla Structures, WSP Finland Oy).



Kuva 15. Madekosken sillan liitostekniikan 3D-suunnittelumalli (WSP Finland Oy).

### 3.3.2 Siltanylund Oy

Siltanylund Oy:n kehittämistyö on käynnissä ja edistyy Destian yritysprojektin osana. Destian yritysprojektin (tarkemmin katso kohta 3.4.6) yhteydessä tehdään Teklan TS-ohjelmiston avulla kahden siltakohteen suunnitelmat 3D-muotoisiksi. Siltanylund Oy:n henkilöitä avustaa suunnittelukonsulttina Destia sen omassa kehittämisprojektissa.

Siltanylundin tekemiä tarvemäärittelyjä on toimitettu koko prosessin ajan Teklan TS- kehitykseen siltasuunnittelutyökalujen mahdollista kehittämistä varten. Siltanylund on lisäksi mukana yhtenä konsulttina Tiehallinnon TS Custom components- kirjaston kehitysprojektissa.

### 3.3.3 YS Sito Oy

Diplomityössä tehtyjen haastattelujen ja saatujen omien kokemusten perusteella betonisillan suunnittelu tehostuu 3D-tuotemallinnuksen avulla. Suunnitteluun käytetty aika vähenee detaljoinnin ja piirustusten tuottamisen osalta noin 10 %, määräluetteloissa ajan säästö on noin 70 % ja koko suunnittelun osalta ajan käyttö on noin 0,8 - 1,2 -kertainen 2D-suunnitteluun verrattuna. Suunnittelun tehostuminen ei ole yksistään käytetystä ajasta riippuvainen.

3D-mallintaminen vähentää selkeästi suunnitteluvirheitä ja ne havaitaan myös aikaisemmin. 3D-tuotemalli on täysin määritelty matemaattinen malli, eli siinä ei voi olla mahdollisia muotoja. Suunnitteluvirheiden vähentyminen ja aikaisempi havaitseminen vähentävät myös rakentamisen aikaisia viivästyksiä.

Muutokset 3D-tuotemalliperusteisessa suunnittelussa ovat selkeästi paremmin hallittavissa kuin perinteisessä 2D-suunnittelussa. 2D-suunnittelussa syntyy useasti tilanteita, joissa muutokset eivät päivyty kaikkiin piirustuksiin tai luetteloihin. 3D-mallista generoitavat piirustukset ovat mallista suoraan



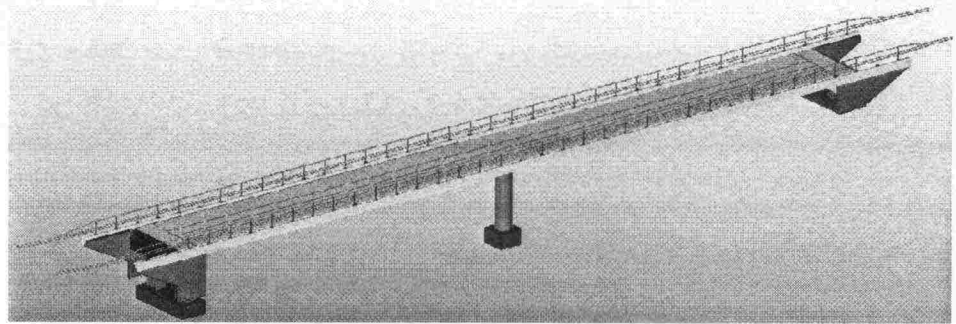
riippuvaisia eli mallissa tapahtuvat muutokset päivittyvät myös jokaiseen kyseistä kohtaa esittävään piirustukseen ja luetteloon, jolloin piirustusten tai luetteloiden välillä ei esiinny ristiriitaisuuksia. 3D-tuotemallin sisältämiä rakennusosia voidaan käyttää hyväksi seuraavissa malleissa joko suoraan tai parametrisia mittoja muuttamalla. Tämä osaltaan lisää suunnittelun tehokkuutta tulevilla projekteilla.

3D-mallinnusohjelmistot mahdollistavat suoraan myös rakenteiden visualisoinnin. Visualisoituja malleja voidaan hyödyntää esimerkiksi tilaajan ja suunnittelijan välisessä kommunikaatiossa, projektin eri osapuolten välisessä työskentelyssä tai markkinoinnin tukena.

3D-tuotemalliperusteisessa suunnittelussa tulee miettiä myös suunnitelmien tavoiteltava ja tarkoituksenmukainen detaljointitaso eri suunnitelmavaiheissa. Alustavassa suunnittelussa ei kannata tuhlaa resursseja liian tarkkaan suunnitteluun, koska muutokset ovat todennäköisiä. On myös suunnittelu-kohteita, joissa kevyemmällä suunnittelulla saadaan rakenne toteutettua.

*Taulukko 1. 2D-perusteisen ja tuotemalliperusteisen suunnittelun vertailua (YS Sito Oy, Ari Kouvalainen, 2008).*

	hyödyt	haitat
Perinteinen suunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ tuttua ja turvallista</li> <li>+ helppo omaksua</li> <li>+ ohjelmistot jo olemassa</li> <li>+ yksinkertaisen viivageometrian helppo muokattavuus, kopiointi ja mitoitettavuus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tietomäärä hajallaan useissa dokumenteissa</li> <li>- dokumentinhallinta työlästä</li> <li>- piirustustiedoston tietomäärä pienempi</li> <li>- piirustus koostuu viivoista ja tekstistä → ei älykkyyttä</li> <li>- sama tieto useassa paikassa</li> <li>- ristiriitaisuudet dokumenttien välillä</li> </ul>
Tuotemalliperusteinen suunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ tukee elinkaariajattelua</li> <li>+ tietomäärä yhdessä paikassa</li> <li>+ tiedon kumulatiivinen lisääntyminen</li> <li>+ rakenneosa tai objekti sisältää tuotetietoa</li> <li>+ tuotemallin objektit sisältävät älykkyyttä, esim. liitosten muodostaminen helppoa</li> <li>+ objektin koon muuttaminen voi muuttaa myös raudoitusta</li> <li>+ määräluetteloiden generointi nopeaa</li> <li>+ mahdollisuus 4D/5D-mallin käyttöön</li> <li>+ joissain tapauksissa muutosten teko nopeaa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- uutta ja vierasta</li> <li>- vaatii asennemuutosta</li> <li>- vaatii uusien ohjelmistojen hankintaa ja koulutusta</li> <li>- tietyissä tilanteissa detaljien mallintaminen hankalaa ja aikaa vievää</li> </ul>

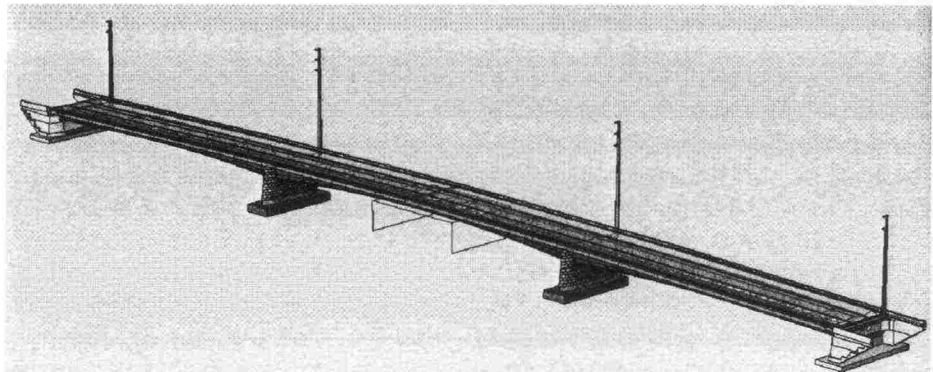


Kuva 16. Kiukkolan risteyssillan 3D-tuotemalli (YS Sito Oy, Ari Kouvalainen).

### 3.3.4 Ramboll Finland Oy

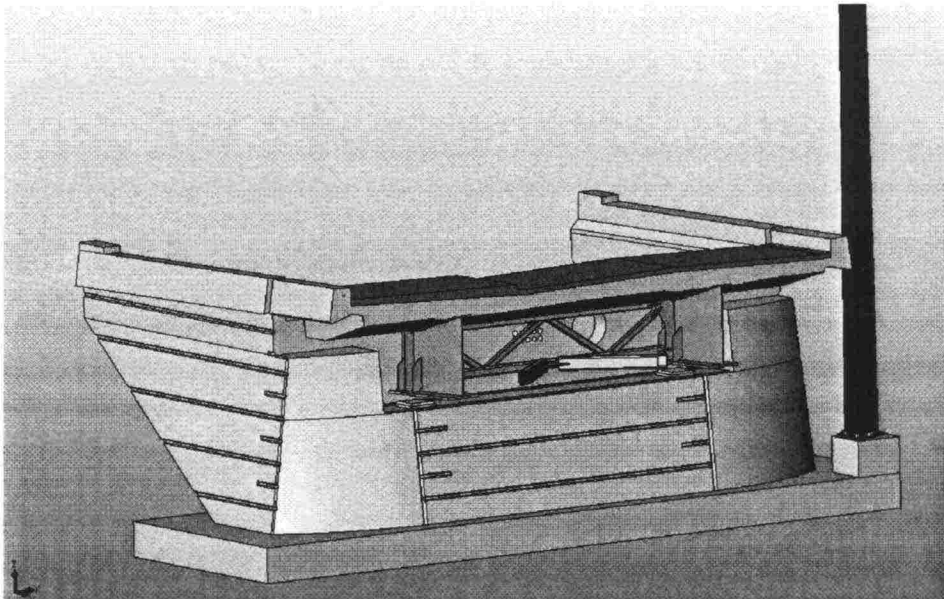
Ramboll Finland Oy:ssä tehtyjen projektien ja kehityshankkeiden tulosten perusteella voidaan päätellä, että SolidWorks tai muu vastaava yleinen tuotemallinnusohjelmisto soveltuu hyvin sillansuunnittelukäyttöön. Erityisesti vahvoja alueita ovat alustavat suunnitteluvaiheet, joissa kokenut käyttäjä saa erittäin nopeasti ja pienellä työllä havainnollista materiaalia keskustelujen pohjaksi. Tehtyä tuotemallimateriaalia voi suoraan käyttää jatkosuunnittelussa, jossa malleja tarkennetaan suunnitteluvaiheen edellyttämään tarkkuuteen saakka.

Ramboll Finland Oy on edennyt kehitystyössä pienten askeleiden menetelmällä. Solidworks-ohjelmaan on kehitetty menetelmät määräluettelon ja kustannusarvion poimimiseen ja laadintaan. Menetelmät tukevat tarkentuvan suunnittelun ideaa. Käyttöliittymä on sinänsä vielä alkeellinen. Laajempaa kehittämisprojektia on suunniteltu.



Kuva 17. SolidWorks-ohjelmalla mallinnettu Lukkarin silta (Ramboll Finland Oy).





Kuva 18. Solidworks-ohjelmalla mallinnettu maatuen 3D-rakennemalli (Ramboll Finland Oy).

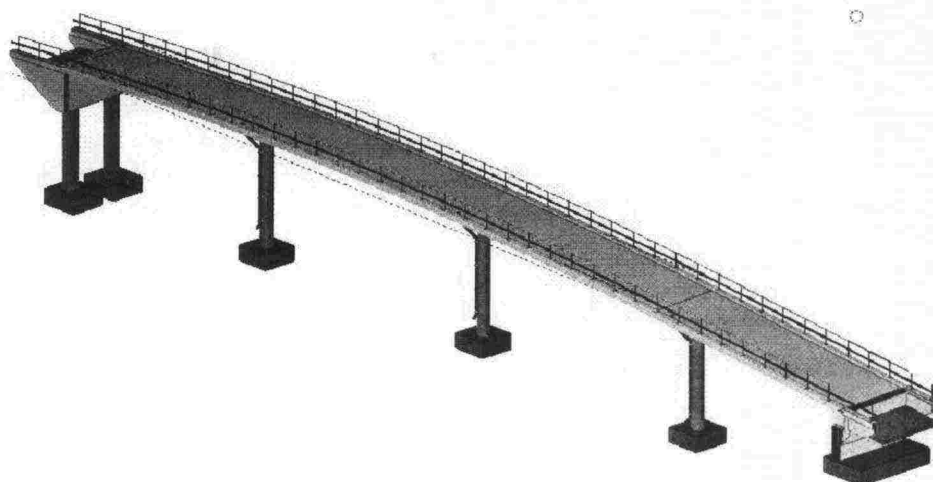
### 3.3.5 Ponvia Oy

Ponvia Oy:n projektiosuuden tulokset raportoitiin erillisessä Silta3D-projektin loppuraportissa. Ponvia vastasi tässä projektissa siltasuunnitelun asiantuntemuksesta ja osallistui erityisesti piirustuksista tehtyjen 3D-mallien ja laserkeilauksista saatujen mittaustulosten vertailuun ja merkitysarviointiin.

### 3.3.6 Destia Oy

Destia on suunnitellut ja aloittanut kehittämistyöt pääurakoitsijan toimintaprosessin parantamiseen ja tehostamiseen liittyen. Kehittämisalustoiksi valittiin kaksi pilottikohdetta, jotka ovat Uuron työmaalla sijainnut Kankaalan risteysilta (S4) ja Hakamäentien työmaalla sijaitseva Keskuspuiston ylikulkukäytävä (S8). Destian oman projektin tavoitteena on 5D-toimintojärjestelmän kehittäminen vuoden 2008 loppuun mennessä. Tavoitteen saavuttamiseksi Destia on verkottunut useiden alalla toimivien eri asiantuntijaorganisaatioiden kanssa. Yhteistyötä tultaneen jatkamaan myös projektin päätyttyä.

Kehittämistyö on vielä käynnissä, ja sen tuloksista tullaan kertomaan vasta Destian oman yritysprojektin (5D-ST) päätyttyä. Destian yritysprojektista laaditaan loppuraportti, jonka julkinen versio jaetaan projektissa mukana olleille yhteistyökumppaneille.



*Kuva 19. Hakamäentien S8-pilottisillan TS-tuotemalli (Siltanylund Oy)*

### 3.3.7 Skanska Infra Oy

Skanska Infra Oy:n kehityshankkeen tuloksena on kertynyt kokemuksia ja tietoa tuotemallien soveltamisesta työmailla sekä suuntaviivat tulevista kehitystoimista. Niiden pohjalta Skanska Infra Oy jatkaa tuotemallien hyödyntämistä.

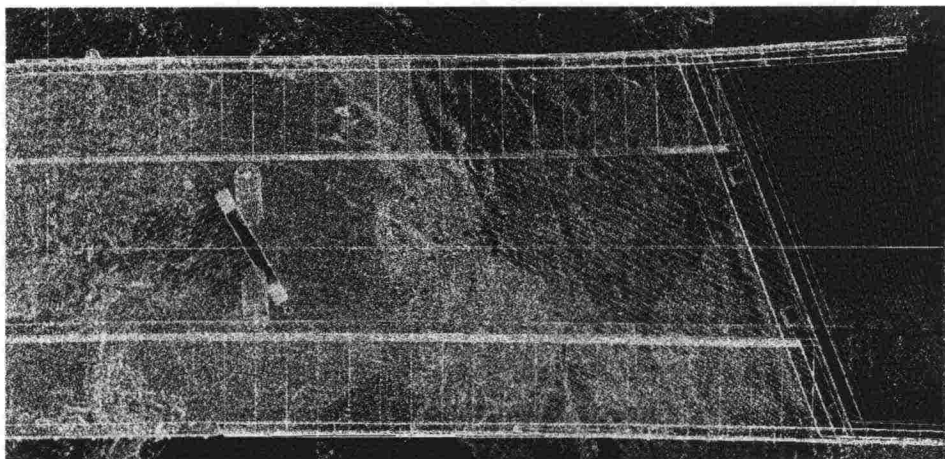
Selvitysosan tuloksena laadittiin oma raportti. Raporttiin kirjattiin tämän hetken tilanne ja tulevaisuuden näkymät. Skanska Infra Oy:n näkökulmasta arvioitiin tuotemalliajattelun etuja, heikkouksia ja mahdollisuuksia. Lisäksi raportti sisältää toimenpide-ehdotukset yrityksen sisäiselle kehitystyölle. Raportti on Skanska Infra Oy:n liikesalaisuutta, eikä sitä julkisteta.

Kokonaisuutena testaus onnistui kohtuullisesti. Laserkeilausta pidettiin työkaluna hyvänä, nopeana ja edullisena. Keilaamalla saatu tarketieto: lähtö- ja toteumatieto, oli jotensakin käyttökelpoista. Lähtötietojen hankintaa varten tosin täytyy vieläkin tarkemmin suunnitella, mitä ja miten keilataan, jotta pistepilvestä elementoitu malli on suunnittelijalle yksiselitteinen. TS:llä suunniteltaessa epäselvät tai monimutkaiset kohdat saatiin nopeasti työmaalle piirustusten lisäselvitykseksi värillisinä 3D-kuvina. Tämä oli työmaan kannalta suurin apu perinteiseen suunnitteluun nähden.

Lähtötiedon ja toteumatiedon vertaaminen todettiin varsin helpoksi. Sillan jatkaminen todettiin onnistuneen myös toleranssien puitteissa tehdyksi. Tosin SYL:in mukaiset laatumittaukset tehtiin perinteisin menetelmin.

Testaus antoi hyviä parannusehdotuksia tuleviin hankkeisiin. TS:llä luotujen raudoituskuvien selkeyttä tulee kehittää: kaikkia rautoja ei tarvitse näyttää. Tuotemallinnettuun suunnitelmaan tulee mallintaa kaikki sillan varusteet ja laitteet, ainakin tilavarauksina. Mittaussuunnitelman tekeminen on tärkein työvaihe mittaamisen onnistumiseksi.



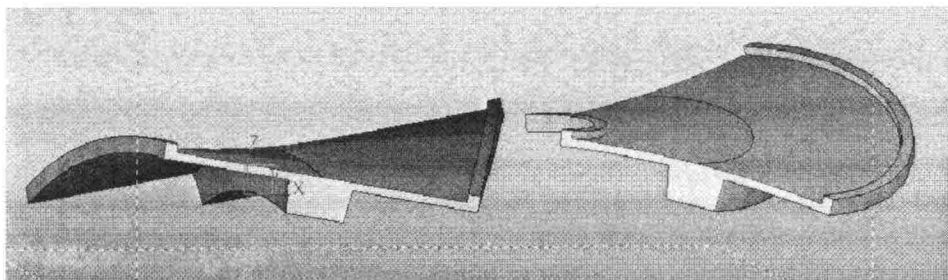


Kuva 20. Huhmarin sillan tuotemalli (WSP Finland Oy).

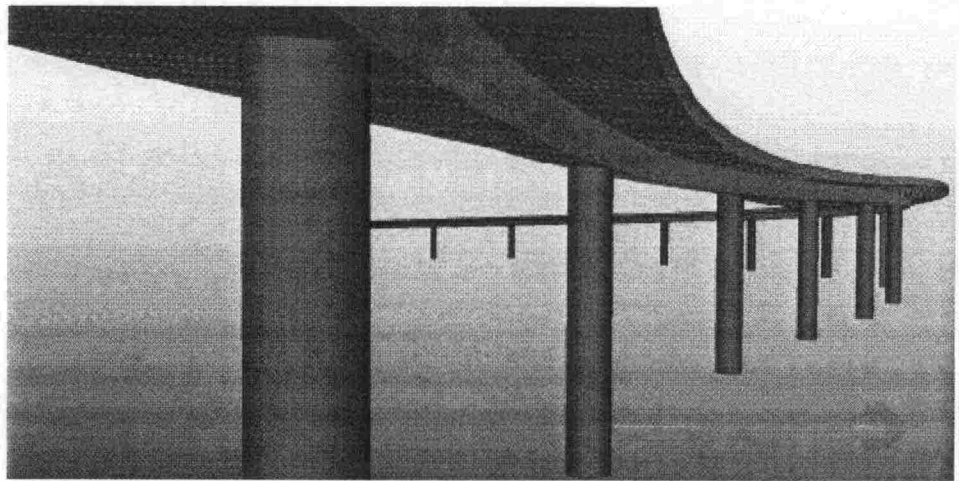
### 3.3.8 Tekla Oyj

Tietomallintaminen (Building Information Modelling, BIM) on viime vuosina yleistynyt rakentamisessa ja Teklan tavoitteena on olla siinä johtava ohjelmistotoimittaja. Tietomallin hyödyntäminen on myös tulossa siltasuunnitteluun. 5D-SILTA-projekti on ollut Teklalle haastava, mutta myös antoisa kehitysprojekti. Tekla Oyj on todellisten hankkeiden sekä projektiin osallistuvien kumppaneiden kanssa käytyjen keskusteluitten kautta kerännyt arvokasta tietoa nykyisistä sillansuunnitteluprosesseista, työtavoista sekä kehitystarpeista. Tämän perusteella on pyritty arvioimaan uusia tapoja hyödyntäen nykyaikaisia 3D-työkaluja tehostamaan suunnittelua sekä mm. poistamaan virheitä. Tekla on myös kerännyt ideoita, kehitystoiveita ja prioriteettilistoja Tekla Structures -ohjelmistokehitystä varten.

Tekla on jo jonkin verran toteuttanut Tekla Xstreet- ja Tekla Structures-ohjelmiin uusia tuoteominaisuuksia projektissa tehtyjen määrittelyiden pohjalta. Tekla on panostanut haastavan geometrian omaavien siltojen mallintamiseen. Uusia ominaisuuksia ovat mm. kahteen suuntaan kaarevat objektit, pituussuuntainen kierto oman akselin ympäri, sketsattu parametrinen poikkileikkaus, pituus-suunnassa muuttuva poikkileikkaus sekä esikohotus-toiminnot. Tämän lisäksi on panostettu rauditustyökalujen sekä erityisesti piirustuspuolen ominaisuuksien kehittämiseen. Myös kollaboraatio-ominaisuuksia on kehitetty ja kehitetään jatkossa vielä enemmän. Määrittelytyötä ja käyttökokeita jatketaan edelleen.



Kuva 21. Haasteellista siltageometriaa on mallinnettu Tekla Structures -ohjelmistossa.



*Kuva 22. Sillan lähtöarvot ja perusgeometria on tuotu Tekla Structures -ohjelmistoon suoraan Tekla Xstreet -ohjelmistosta. Tiedonsiirto on toteutettu Teklan uuden avoimen .NET-rajapinnan kautta.*

Teklassa on myös tutkittu älykkään tiedonsiirron kehittämistä Teklan Xstreet- ja Tekla Structures -ohjelmistojen välillä.

Tiedonsiirtoa mittaussovelluksiin selvitettiin Terrasolid Oy:n kanssa. Perinteiden mukaisten 2D- tai 3D DWG-, DGN- tai DXF-formaattien lisäksi älykkästä tietoa voidaan siirtää muille projektiosapuolille mm. tuoterakenteisen IFC-formaatin avulla (eli geometrian lisäksi myös muuta informaatiota).

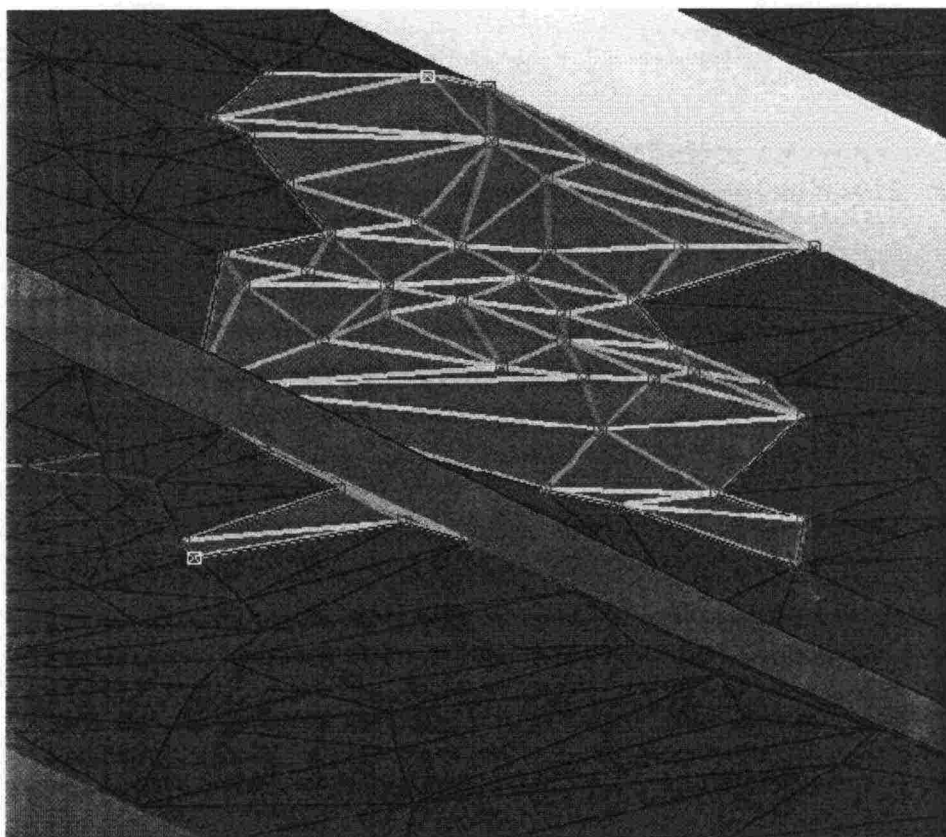
Teklan kehittämä avoin rajapinta mahdollistaa avoimen tuotekehitysrajapinnan muillekin yrityksille ja näiden sovelluksille erilaisia työkaluja hyödyntämällä. Yksi käyttötapa on hyödyntää laserkeilauksesta tai Tekla Xstreet -ohjelmistosta saatuja pintamalleja. Näitä voidaan nyt tuoda suoraan Teklaan ja tavoitteena on, että näitä pintoja hyödyntämällä saadaan laskettua mm. tarvittava louhintamäärä (kiintokuutiot), paalujen suunniteltu lyöntisyvyydet tai esimerkiksi virhepoikkeamat. Teklassa .NET työkalulla kehitetty as-built paalusovellus palauttaa TS-malliin tarkemitatut paalut poikkeamiseen. Näin voidaan helposti siirtää tietoa työmaalta suunnittelijalle sekä urakoitsijalle. Tekla Structures -mallin jakamista eri toimistojen ja käyttäjien välillä jatkokehitetään vielä 5D-siltaprojektin jälkeen.

Laserkeilauksesta saatu pintamalli voidaan myös hyödyntää korjaussuunnittelussa. Pintamallin perusteella voidaan suoraan lähteä mallintamaan korjattavaa kohdetta ja sen rakenteita. Myös valmiin rakenteen pintojen poikkeamia suunnitellusta geometriasta voidaan helposti havaita.

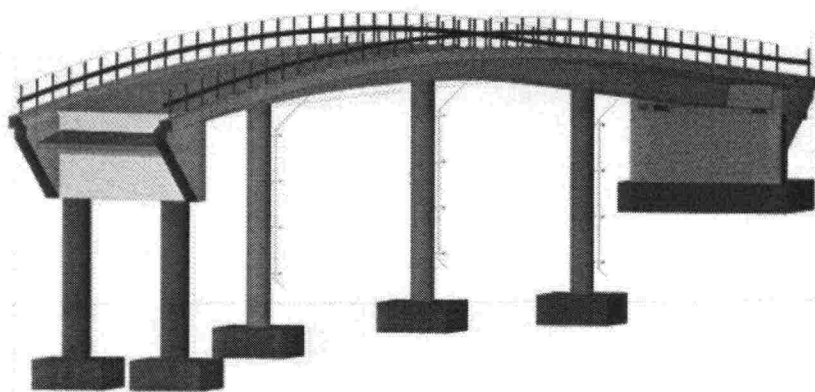
Tiehallinto on kokeillut ja määritellyt uusia ominaisuuksia ja mahdollisuuksia tilaajatyökalun kehittämiseen. Tiehallinto on myös tutustunut tarkemmin siltakonsulttien 5D-suunnitteluprosessiin. Urakoitsijoiden määrittelyitä kehitetään edelleen projektiin osallistuvien urakoitsijoiden kanssa.

Projektin kokonaisaikataulu ja esimerkiksi asennusaikataulu (tai tarvittaessa mikä aikataulu tahansa) voidaan viedä lisäinfona rakennemallin objekteille. Tekla Structures -mallista saadaan siirtää tarkkaa määrätietoa hankintoja tai kustannuslaskentaa varten.

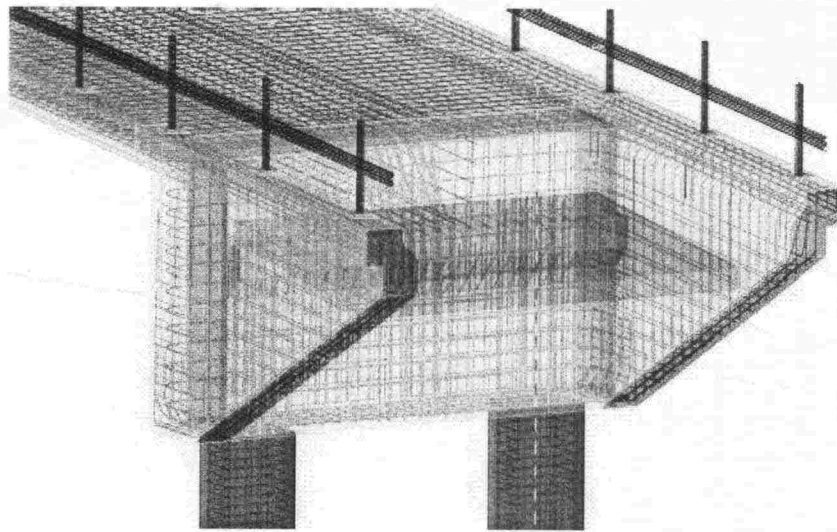




Kuva 23. Laserkeilatun pintamallin tarkastelua Tekla Structures -ohjelmistossa (TS). Pintamallia voidaan hyödyntää mm korjausrakentamisessa sekä valmiin rakenteen laadunvarmistuksessa. Vastaavasti myös maaperä- tai kallio-pinnat voidaan tuoda suunnittelun lähtötiedoksi TS:ään.



Kuva 24. Siltanylund Oy:n mallintama pilottikohde - Hakamäentien silta S8.



Kuva 25. Esimerkki sillan tuotemallista - yksityiskohta S8-sillan rakenteista.

### 3.3.9 Terrasolid Oy

Terrasolid Oy on omassa kehittämisprojektissaan selvittänyt erilaisia toteutusmahdollisuuksia siltasuunnittelun kytkemiselle mittaussovelluksiin. Tekla Oyj:n kanssa pidetyssä palaverissa esille nousi yhtenä vaihtoehtona avoimen IFC-tiedonsiirtostandardin käyttäminen. Terrasolid ja Tekla kokeilivat esimerkinomaisen palkin ja pilarin IFC-tiedonsiirtoa TS:stä MicroStationiin. Yksinkertaiset osat siirtyivät oikein, mutta monimutkaisissa suuremmissa malleissa ilmeni ongelmia. Parhaiten tiedonsiirrossa toimii kuitenkin DGN-formaatti. Tilavuusmallipohjainen (solid) tiedonsiirtomahdollisuus kiinnostaa edelleen Terrasolid Oy:tä. Terrasolid suunnittelee parhaillaan takymetrien ja GNSS-laitteiden tiedonsiirtoyhteyksien kehittämis- ja toteutusmahdollisuuksia yhteistyössä Trimblen (USA) kanssa.

IM2-formaatilla on mahdollisuus siirtää hyvin monenlaista tietoa avoimesti sovelluksesta toiseen, mm. tiegeometria, pinnat, kolmiverkot, jne. Myös mittalaitteille ja koneohjausjärjestelmiin voidaan tietoja siirtää. Laserkeilattuja pistepilviä kuitenkin sellaisenaan voida, näiden liian suuren tietomäärän johdosta, siirtää. Maastomallintamisen alueella laserkeilauksen sekä samanaikaisesti mitatun GPS- ja inertiamittausten havaintosuureiden siirtoon on kehitetty oma binäärimuotoinen ns. LAS-tiedonsiirtoformaatti. Avoin LandXML-ympäristö tulee rakentamiseen arvioiden mukaan "pikku hiljaa". Mittausjärjestelmätkin ovat vielä nykyisin harmillisen suljettuja. Vaikka tyypillinen mittalaite olisi kytkettävissä tietoverkkoon, selaimella ei esimerkiksi voida suoraan lukea koordinaattimittaustietoja.



### 3.3.10 Geotrim Oy

Geotrim Oy osallistui Destian 5D-ST-projektissa tehtyjen siltapaikan on site -mittausjärjestelmän kehitystyöhön. On site-järjestelmän kehitystyössä takymetrina käytettiin Trimblen servotakymetria (kuva).



Kuva 26. Siltojen on site -mittausjärjestelmän prototyyppi (Oulun yliopisto, Destia Oy). Sillan tuotemallin suunnitteli Siltanylund Oy. Kehittämiskokeet toteutettiin yhteistyössä Geotrim Oy:n kanssa.

## 4 ARVIOINTIA

5D-SILTA-projekti oli sateenvarjohanke, jonka alaisuudessa toteutettiin useita erillisiä tutkimus- ja kehittämisprojekteja konsortion toimijoiden yhteistyöllä. 5D-teknologialla tarkoitettiin tässä projektissa enemmän kuin 3-dimensionaalisen tiedon tuottamista, siirtämistä ja hyödyntämistä läpi sillanrakentamisen kokonaistoimintaprosessin. Merkittävimmät kehittämistoimet kohdistuivat siltojen 3D-laserkeilausten ja GPR-tutkausten kehittämiseen, mittaustulosten siirtämiseen siltojen 3D-tuotemallintamiseen, tuotemallintamiseen perustuvan sillansuunnittelun kehittämiseen sekä edelleen tuotemallin hyödyntämiseen rakennustyön määrä- ja kustannuslaskennassa, aikatauluttamisessa, hankintojen suunnittelussa ja ohjauksessa sekä rakentamisessa ohjaavissa ja tarkastavissa 3D-mittauksissa. Projektikokonaisuus tuotti runsaasti erilaista tulosaineistoa, joiden arviointi ja myös jatkokehitystoimet jatkuvat edelleen. Osa erittäin mielenkiintoisista tuloksista syntyi luottamuksellisissa yritysprojekteissa, josta syystä niitä ei valitettavasti tässä raportissa voitu vielä julkistaa.

Useissa 5D-SILTA-osaprojekteissa tutkittiin mittausten kehittämistä. Kokeiden perusteella 3D-laserkeilausten avulla voidaan rikastuttaa, tehostaa ja tarkentaa siltapaikalla tarvittavia geometrisia mittauksia sillanrakentamisprosessin eri vaiheissa. Myös jatkuvasti kehittyvä siltatutkaus (GPR) laajentaa edelleen lähtötietojen mittaushallittavuutta ja tuottaa siten yhä enemmän informaatiota siltojen korjaussuunnittelua varten.

Laserkeilaus todettiin kokeissa tehokkaaksi rakenteiden geometrian mittaamisvälineeksi. Laserkeilausaineistosta voidaan arvioida hyvin laajalti rakenteiden sijainti ja mitat. Tutkimuksissa käytetyillä mittalaitteilla saatu aineisto oli helposti käsiteltävissä käytettävissä olevilla tietokoneilla ja ohjelmistoilla. Kokeissa lähes kaikki toleranssivaatimuksissa asetetut geometrian tarkistukset voitiin laserkeilausaineiston avulla suorittaa. Suorittamatta jääneet tarkistukset johtuivat joko keilausaineiston puuttumisesta tai riittämättömyydestä ja ne olisi voitu suorittaa lisämittausten avulla. Onnistuakseen laserkeilausten suorittaminen vaatii mittauksen toteutuksen suunnittelua ja riittävän kattavaa mittauksia.

Mitatun aineiston arvioinnissa olisi myös kehitettävää. Pisteaineiston automaattinen vertaaminen suunnitelmamallin pintoihin nopeuttaisi ja helpottaisi arviointia. Laserkeilaamalla tehtävät tarkemittaukset mahdollistavat huomattavasti laajemman rakenteiden mittojen kelpoisuuden tarkistamisen kuin mitä Sillan yleisissä laatuvaatimuksissa (SYL) on esitetty. Laserkeilausten perusteella voidaan arvioida koko rakenteen sijainti missä tahansa kohdassa. Laserkeilaamalla mitatun aineiston kattavalla analyysillä voidaan mahdolliset poikkeamat todeta muissakin rakenteiden kohdissa kuin mitä SYL:ssä on esitetty. Suoritettu tutkimus vahvistaa käsitystä laserkeilausten tehokkuudesta rakenteiden mittauksissa.

Siltojen korjausrakentamishankkeisiin laserkeilaus tarjoaa erittäin tehokkaan ja tarpeellisen lähtötietojen hankintakeinon. Vanhat siltarakenteet eivät koskaan ole täysin suunnitelmapiirustusten mukaisia. Laserkeilaamalla lähtötietojen mukainen todellinen siltarakenne ja mitat saadaan tarkasti selville. Ilman mittauksia korjausprosessi etenee jatkuvana "suunnitelmien muutosprosessina" liitos- tai muutospintojen osalta. Tehdyn tutkimuksen perusteella laserkeilaaminen kannattaa ottaa siltojen korjausrakentamisprosessissa sys-



temaattisesti käyttöön. SYL-toleranssivaatimusten uudistamista 3D-mittauksiin soveltuvaksi kannattaa tutkia. Sinänsä skalaariset SYL-toleranssien mittapoikkeamat voidaan aina laskea 3D-pistepilvestä.

Kokeissa yhtenä ongelmana oli yhteisen koordinaatistojärjestelmän puute sekä suunnitelmamalleissa että laserkeilauksissa. Jos sekä suunnitelmamallit että mittaukset olisi tehty yhteiseen ja tarkasti samaan koordinaatistojärjestelmään, mikä periaatteessa olisi ollut mahdollista, olisi välttytty ylimääräiseltä työltä mallien yhteensovittamisessa. Näin myös suunnitelmamallit tulisi tilata tarkasti samaan koordinaatistojärjestelmään mallinnettuna. Näin myös silta rakenteiden mahdolliset painumat ja siirtymät tulisi suoraan mallivertailussa esiin.

Siltojen suunnittelussa siirtyminen 3D-tuotemallintamiseen tehostaa ja nopeuttaa suunnittelutyötä, vähentää suunnitteluvirheitä, helpottaa muutosten hallintaa ja palvelee suoraan visualisoinnin eri tarkoituksia. Urakoitsija kykenee hyödyntämään tuotemallia suoraan esimerkiksi määrä- ja tarjouslaskennassa, hankintatoimessa, aikatauluhallinnassa ja mittauksissa. Myös tilaaja voi hyödyntää tuotemallia esimerkiksi suunnitelmien tarkistusvaiheessa.

Tehdyissä suunnittelukokeissa arvioitiin, että suunnitteluun käytetty aika vähenee detaljoinnin ja piirustusten tuottamisen osalta noin 10 %, määräluetteissa ajan säästö on noin 70 % ja koko suunnittelun osalta ajan käyttö on noin 0,8 - 1,2 -kertainen 2D-suunnitteluun verrattuna. Suunnittelun tehostuminen ei ole yksistään käytetystä ajasta riippuvainen. 3D-mallintamiseen siirtyminen vähentää myös selkeästi suunnitteluvirheitä. Virheet voidaan myös havaita aikaisemmin. 3D-tuotemalli on täysin määritelty matemaattinen malli eli siinä ei voi olla mahdottomia muotoja. Suunnitteluvirheiden vähentyminen ja aikaisempi havaitseminen vähentävät prosessin edetessä edelleen myös rakentamisen aikaisia viivästyksiä.

Muutokset 3D-tuotemalliperusteisessa suunnittelussa ovat selkeästi paremmin hallittavissa kuin perinteisessä 2D-suunnittelussa. 2D-suunnittelussa syntyy useasti tilanteita, joissa muutokset eivät päivitty kaikkiin piirustuksiin tai luetteloihin. 3D-mallista generoitavat piirustukset ovat mallista suoraan riippuvaisia eli mallissa tapahtuvat muutokset päivittyvät myös jokaiseen kyseistä kohtaa esittävään piirustukseen ja luetteloon, jolloin piirustusten tai luetteloiden välillä ei esiinny ristiriitaisuuksia. 3D-tuotemallin sisältämiä rakennusosia voidaan käyttää hyväksi seuraavissa malleissa joko suoraan tai parametrisia mittoja muuttamalla. Tämä osaltaan lisää suunnittelun tehokkuutta tulevaisuuden projekteissa.

3D-mallinnusohjelmistot mahdollistavat suoraan myös rakenteiden visualisoinnin. Visualisoituja malleja voidaan hyödyntää esimerkiksi tilaajan ja suunnittelijan välisessä kommunikaatiossa, projektin eri osapuolten välisessä työskentelyssä tai markkinoinnin tukena.

3D-tuotemalliperusteisessa suunnittelussa tulee miettiä myös suunnitelmien tavoiteltava ja tarkoituksenmukainen detaljointitaso eri suunnitelmavaiheissa. Alustavassa suunnittelussa ei kannata tuhlaa resursseja liian tarkkaan suunnitteluun, koska muutokset ovat todennäköisiä. On myös suunnittelu-kohteita, joissa kevyemmällä suunnittelulla saadaan rakenne toteutettua.

## 5 VIITERAPORTIT

Heikkilä, R. & Halme, J.-M., Paitsola, J. & Hänninen, K. & Kuusela, K. (2007). Siltojen tuotemallintamisen ja rakentamisautomaation kehittäminen. Laserkeilaamalla saadun 3D-pistepilven vertaaminen 2D-siltapiirustusten perusteella mallinnettuun 3D-tuotemalliin. Oulu, Oulun yliopisto, Rakentamisteknologian tutkimusryhmä. Loppuraportti. 65 s.

Heikkilä, R. & Hänninen, K. & Karjalainen, A. & Mikkonen, M. & Tiir, V. (2007) Sillanrakentamisen automaatio – case Kajaanin varikkosilta. Siltojen tuotemallintamisen ja rakentamisautomaation kehittäminen. Oulun yliopiston Rakentamisteknologian tutkimusryhmän tutkimusraportti. Oulu, Oulun yliopisto, Rakentamisteknologian tutkimusryhmä. Loppuraportti. 29 s.

Perälä, M. & Kuusela, K. & Pulkkinen, K. & Heikkilä, R. (2007) Siltasuunnitelmien muuttaminen 3D-muotoon, konseptikuvaus. Helsinki, Tiehallinto, Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 44/2007. ISSN 1459-1561, TIEH 4000587-v. 29 s. + liitteet.

Tiehallinto (2007) Seitsemän sillan siltatutkaus ja niihin liittyvien erikoistarkastusten täydentäminen. Loppuraportti. Helsinki, Tiehallinto, Uudenmaan tiepiiri. Destia, Konsulttipalvelut, Sillansuunnittelu. 31.12.2007. 33 s. + liitteet.



## 6 KIRJALLISUUSLUETTELO

Heikkilä, R. & Halme, J.-M., Paitsola, J. & Hänninen, K. & Kuusela, K. (2007). Siltojen tuotemallintamisen ja rakentamisautomaation kehittäminen. Laserkeilaamalla saadun 3D-pistepilven vertaaminen 2D-siltapiirustusten perusteella mallinnettuun 3D-tuotemalliin. Oulu, Oulun yliopisto, Rakentamisteknologian tutkimusryhmä. Loppuraportti. 65 s.

Heikkilä, R. & Hänninen, K. & Karjalainen, A. & Mikkonen, M. & Tiirö, V. (2007) Sillanrakentamisen automaatio – case Kajaanin varikkosilta. Siltojen tuotemallintamisen ja rakentamisautomaation kehittäminen. yliopiston Rakentamisteknologian tutkimusryhmän tutkimusraportti. Oulu, Oulun yliopisto, Rakentamisteknologian tutkimusryhmä. Loppuraportti. 29 s.

Heikkilä, R. & Jaakkola, M. (2004) Johdatus tienrakentamisen automaatioon. Loppuraportti, Tienpidon digitaalisen toimintaprosessin kehittäminen ja rakentamisen automatisointi. Tiehallinto, Tiehallinnon selvityksiä 61/2004, ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-418-4, TIEH 3200915, 71 s.

Heikkilä, R. & Karjalainen, A. & Pulkkinen, P. & Haapa-aho, E. & Jokinen, M. & Oinonen, A. & Jaakkola, M. (2005) Siltojen 3D-suunnittelu-, ja -mittausprosessin kehittäminen ja käyttöönotto (Älykäs silta). Tuotekehitysprojektin loppuraportti. Tiehallinto, Tiehallinnon selvityksiä 12/2005, ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-459-1, TIEH 3200924, 64 s.

Heikkilä, R. & Jaakkola, M., & Pulkkinen, P. & Karjalainen, A. & Haapa-aho, E. & Jokinen, M. (2004) Siltojen 3D-suunnittelu- ja -mittausjärjestelmän kehittäminen (Älykäs silta). Helsinki, Tiehallinto, Tiehallinnon selvityksiä 36/2004. Tutkimus- ja tuotekehitysprojektin väliraportti. Helsinki, Oy Edita Ab, ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-303-x, TIEH 3200886. 61 s.

Heikkilä, R. & Jaakkola, M. (2005) The Role and Benefits of Visualization in 3-D Street and Bridge Design. ISARC'2005, The 22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 11-14 September 2005, Ferrara, Italy, pp. 54-.

Heikkilä, R. & Jaakkola, M. & Pulkkinen, P. (2003) Connecting 3-D Concrete Bridge Design to 3-D Site Measurements. ISARC'2003, 20th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 21-24 September 2003. Eindhoven, the Netherlands, pp. 259-264.

Heikkilä, R. & Jaakkola, M. & Pulkkinen, P. (2004) Modelling Measurements and Measuring Models – Problems and Solutions of 3-D Geometrical Control in Concrete Bridge Engineering. ISARC'2004, 21st International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 21-25 September 2004. Jeju, Korea, pp. 81-84.

Heikkilä, R. & Pulkkinen, P. & Karjalainen, A. & Jaakkola, M. (2005) On the Economy and Benefits of 3-D Design Method in Bridge Engineering. ISARC'2005, The 22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 11-14 September 2005, Ferrara, Italy, pp. 70-.

Pulkkinen, P. & Karjalainen, A. & Heikkilä, R. (2008) 5D Bridge – Development of 5D Process and Tools for Bridge Engineering. IABSE (International

Association for Bridge and Structural Engineering), Information and Communication Technology for Bridges, Buildings and Construction Practice, Helsinki, Finland, pp. 68-69.





ISSN 1459-1553  
ISBN 978-952-221-049-4  
TIEH 3201101-v